This International Student Edition is for use outside of the U.S.

10th Edition

Anatomy & Physiology

The Unity of Form and Function

Kenneth S. Saladin

McGraw Hill

التشريح & الفسيولوجيا

وحدة الشكل والوظيفة

الطبعة العاشرة

كينيث س. سالادين

أستاذ متميز فى علم الأحياء، متقاعد

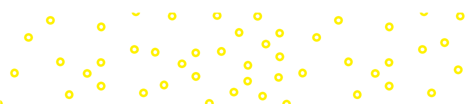
كلية جورجيا

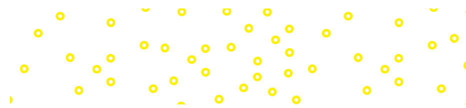
مؤلف رقمى

كريستينا أ. جان

كلية هايلين

ماك
جرو
هيل





ماك غرو هيل

التشريح وعلم وظائف الأعضاء

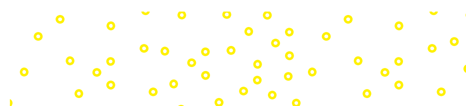
تم طباعة هذا الكتاب على ورق خالٍ من الحمض.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 LWI 28 27 26 25 24 23

رقم الكتاب المعياري الدولي 978-1-266-14531-5
MHID 1-266-14531-1

صورة الغلاف: *يسبيراند كوسيجن/Shutterstock*

mheducation.com/highered



المحتويات الموجزة

عن
المؤلفين



سى ديان سالادين

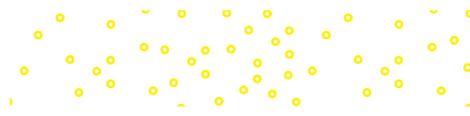
كينيث س. سالادين هو أستاذ متميز فى علم الأحياء، متقاعد، فى كلية جورجيا فى ميليدجفيل، جورجيا. حصل على بكالوريوس فى علم الحيوان من جامعة ولاية ميشيغان ودكتوراه فى علم الطفيليات من جامعة ولاية فلوريدا، مع اهتمام خاص فى بيئة الحواس للكائنات اللافقارية المائية العذبة. انضم إلى هيئة التدريس فى كلية جورجيا عام 1977 ودرّس هناك لمدة 40 عامًا، شملت دورات فى تشريح ووظائف الإنسان، مقدمة فى الفسيولوجيا الطبية، علم الأنسجة، علم الحيوان العام، علم الطفيليات، سلوك الحيوان، علم أصول المصطلحات الطبية، الدراسة فى الخارج فى جزر جالاباجوس، والندوات التحضيرية للطب، من بين أمور أخرى. حصل كين على العديد من الجوائز عن البحث العلمى، التدريس، وتوجيه الطلاب. نال جائزة التميز فى البحث والنشر من الجامعة عن الطبعة الأولى من هذا الكتاب، وتم تعيينه أستاذًا متميزًا فى عام 2001. كين عضو فى جمعية تشريح ووظائف الإنسان، الجمعية الأمريكية للتشريح، الجمعية الأمريكية للفسيولوجيا، جمعية البيولوجيا التكاملية والمقارنة، وجمعية مؤلفى الكتب الدراسية والأكاديمية. استخدم كين عائدات كتبه لدعم محطة تشارلز داروين للأبحاث وتمويل حفظ واستعادة النظام البيئى فى جزر جالاباجوس، ولإنشاء منح دائمة لكلية الشرف فى الجامعة، كرسى ويليام هارفى فى العلوم الطبية الحيوية، محاضرة ويليام هارفى السنوية فى الطب والمجتمع، متحف ويليام ب. وول للتاريخ الطبيعى، منحة سالادين لأبحاث الطلاب تحت إشراف أعضاء هيئة التدريس، والعديد من المنح الدراسية. بعد تقاعده من التدريس، يواصل كين كتابة كتبه الرائدة فى السوق وتوجيه المؤلفين الشباب.

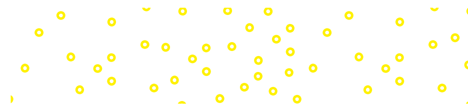


استوديوهات يوان لوى / كريس جان

كريستينا أ. جان، المؤلفة الرقمية لمنصة Connect®، تدرّس التشريح ووظائف الأعضاء، علم الأحياء الدقيقة، وعلم الأحياء العام فى كلية هايلاين فى دى موين، واشنطن، منذ عام 2004. قبل ذلك، درّست فى كلية روج المجتمعية فى ميدفورد، أوريغون، لمدة 6 سنوات. حصلت على درجة الماجستير فى علم الأحياء من جامعة هومبولت، حيث بحثت فى التباين الجينى لـ DNA الميتوكوندرى فى أنواع مختلفة من السلمونيات، وهى عضو فى جمعية تشريح ووظائف الإنسان. عندما لا تكون فى الفصل الدراسى أو تطور الوسائط الرقمية، تمارس التسلق، تسلق الجبال، التزلج، التجديف، الإبحار، ركوب الدراجات، وركوب الدراجات الجبلية فى جميع أنحاء شمال غرب المحيط الهادئ.

المحتويات





الجزء السادس
التكاثر و دورة الحياة

الجزء الخامس
الإدخال والإخراج

تطور
الراوى

كانت الخطوة الأولى لكن سالادين فى التأليف ورقة بحثية من 318 صفحة عن بيئة الهيدرا كتبها لصف الأحياء فى الصف العاشر. مع "كتابه الأول"، الذى تضمن 53 رسماً أصلياً بالحبر الهندى وصوراً مجهرية، وُلد راوى قصة حقيقى.

عندما أصبحت كاتب كتب مدرسية لأول مرة، وجدت نفسى أجلب نفس متعة الكتابة والرسم إلى هذا الكتاب التى اكتشفتها لأول مرة عندما كنت فى الخامسة عشرة من عمرى.

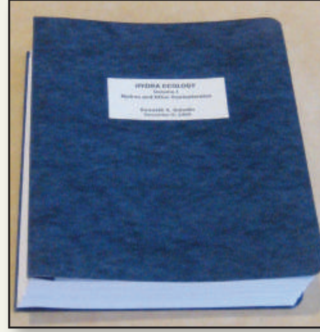
— كين سالادين



بإذن من كين سالادين

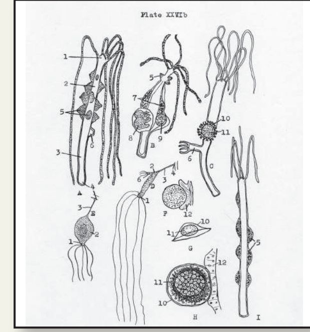


بإذن من كين سالادين



“الكتاب الأول” لكن، بيئة الهيدرا، 1965

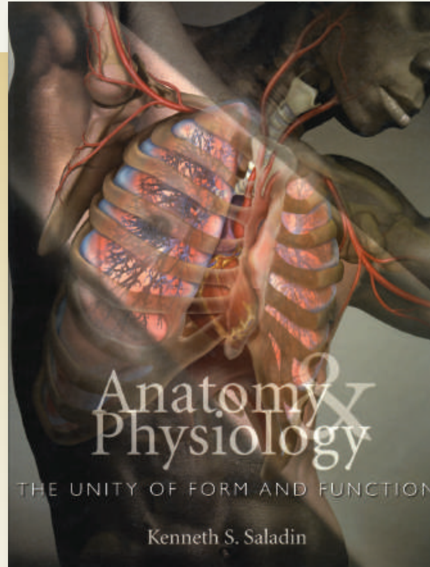
بإذن من كين سالادين



واحدة من رسومات كين من بيئة الهيدرا

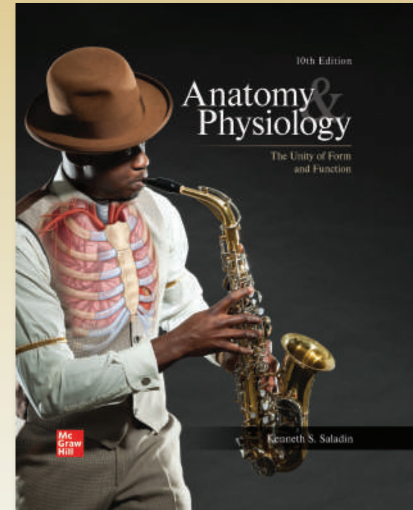
بإذن من كين سالادين

بدأ كين العمل على كتابه الأول لشركة ماكجرو هيل فى 1993، وفى 1997 نُشرت الطبعة الأولى من وحدة *الشكل والوظيفة*.
فى 2023، تستمر القصة مع الطبعة العاشرة من كتاب كين الأكثر مبيعاً فى التشريح وعلم وظائف الأعضاء.



الطبعة الأولى)1997(

ماكجرو هيل



تستمر القصة)2023(

ماكجرو هيل

المقدمة

التشريح وعلم وظائف الأعضاء: وحدة الشكل والوظيفة يروى قصة تتكون من طبقات عديدة، بما فى ذلك العلوم الأساسية، والتطبيقات السريرية ، وتاريخ الطب، وتطور الجسم البشرى. يجمع سالدين بين هذه المناظير حول التشريح وعلم وظائف الأعضاء مع صور فنية حيوية لنقل جمال وإثار ة الموضوع للطلاب المبتدئين.
لمساعدة الطلاب على إدارة الكم الهائل من المعلومات فى هذه الدورة التمهيدية، تم تقسيم السرد إلى مقاطع قصيرة، كل منها مؤطر بنتائج تعلم متوقعة وأسئلة مراجعة ذاتية. تعمل هذه الاستراتيجية التقديمية ككل لخلق طريقة أكثر كفاءة وفعالية لتعلم التشريح وعلم وظائف الأعضاء.

يكتب سالدين بأسلوب مريح، وشبه عامى لجذب اهتمام الطلاب وبناء علاقة بين المؤلف والقارئ؛ وقد أرسل له العديد منهم رسائل إلكترونى ة معبرين عن تقديرهم لذلك، قائلين أشياء مثل "يشعرنى وكأنك فى الغرفة تتحدث إلى شخصيًا." تم اختيار الكلمات وبنية الفقرات بما يتناسب مع مستوى قراءة مناسب لجميع الطلاب.

التغييرات فى الطبعة العاشرة

العلم الجديد

تتضمن التحديثات فى هذا الإصدار استخدامات تشخيصية جديدة لتصوير PET؛ تشريح المساريق؛ حركة الأهداب؛ تحسين متوسط العمر المتو قع للأمراض المزمنة؛ الأنساب الميتوكوندرية والكروموسومية؛ الفسيفساء الجينية فى الأجنة، أدمغة البالغين، والخلايا الجسدية؛ النسيج الدهنى ا لبنى؛ أبحاث الخلايا الجذعية والطب التجديدى؛ تطور لون الجلد؛ ظهور ألوان جلد مرضية لدى الأشخاص ذوى البشرة البنية والسوداء؛ وظيفة تأثير "أصابع البرقوق"؛ الورم الميلانينى؛ الوظائف الصمائية للعظام والعضلات؛ نقص العظم)أوستيوبينيا(؛ إصلاح العضلات والرضوض الدقيقة؛ الص فيرة العصبية المعوية؛ التواصل التشابكى الرجعى؛ النظام الغليمفاوى فى الدماغ؛ دور أجسام لاميلار فى القدمين فى الحركة؛ عدة جوانب من حا سة التذوق؛ مسارات معالجة المعلومات البصرية؛ اتساع نطاق الجهاز الصمائى؛ الاختلافات العرقية فى فصائل الدم؛ وظائف كريات الدم الحمراء والعدلات؛ مرض الشريان التاجى وتكوين اللويحات؛ البروتين التفاعلى C والالتهاب؛ كوفيد-19؛ عدد وتركيب الحويصلات الهوائية؛ السجائر الإلك ترونية والتدخين الإلكترونى؛ الإحساس الذاتى السنى؛ الوظائف المكتشفة حديثًا للعاب والمخاط المعدى؛ القولونالميكروبيوم؛ سرطان القولون؛ ا لسمنة؛ توليد الحرارة عند الرضع؛ ضربة الشمس والإرهاق الحرارى؛ الجنس غير الثنائى والخلل الجنسى؛ تكوين الحيوانات المنوية؛ وظيفة البطر؛ ا لموجات المتداخلة لتكوين البويضات؛ الرضاعة وكثافة العظام؛ الأبحاث حول وسائل منع الحمل للذكور؛ هجرة الأمشاج؛ موقع وآلية الإخصاب؛ ال تحديثات فى تقنيات التناسل المساعدة؛ ونظريات الشيخوخة.

فن وتصوير جديد

لقد تم تحسين العديد من الأشكال بعلامات توضيحية، وأسهم، وألوان، وتفاصيل أخرى لمساعدة القراء الذين يعانون من اختلافات فى حدة البصر ورؤية الألوان، ولتحسين وضوح التفاصيل عند العرض فى الفصول الدراسية. كما تمثل الرسومات فى هذا الإصدار تنوعًا أكبر فى لون البشرة، والعرق، والجغرافيا الثقافية.
تشمل الرسومات الجديدة والمعدلة بشكل كبير التوزيع الجغرافى للون الجلد، مجموعات عظام الجمجمة مقابل الوجه، مقاطع عرضية للسار كومير، تقسيمات الجهاز العصبى، توزيع الأيونات وحركاتها فى الفيزيولوجيا الكهربائية، التحكم الذاتى المزدوج فى القزحية، مسارات معالجة الرؤية فى الدماغ، استخدام مقياس ضغط الدم)sphygmomanometer(، نظام الغليمفاتيك فى الدماغ، تكتل البكتيريا، هيكل فيروس كورونا المس تجد)COVID(وطريقة غزوه، الغسيل الكلوى، هيكل البروتينات الدهنية، تكوين الحيوانات المنوية، تداخل مجموعات الجريبات فى تكون الجريبا ت، نقل الأمشاج وموقع الإخصاب، وعملية الإخصاب.
تشمل الصور الجديدة كسور العظام المفتتة، مكتشفى الإنسولين بانتينغ وبست، اللويحات التصلبية العصيدية، علم الأنسجة للرئة، رئة كوفيد، سرطان القولون، تأثيرات إدمان الكحول على الدماغ، وعلم الأنسجة للمبيض.

التنوع والمساواة والشمول

كانت الإصدارات السابقة تهدف بوعى إلى تحقيق التوازن العرقى فى الفن واللغة، لكن الطبعة العاشرة حظيت باهتمام أكبر بالتنوع العرقى والثقا فى، واللون، وطيف الجنس. تتناول هذه الطبعة التمثيل غير الكافى للتنوع الذى يُرى فى العديد من الكتب الدراسية على أمل أن يشعر جميع القرا ء بالانتماء والألفة. فى لغة العرق و"العرق" واللون، تتبع هذه الطبعة الإرشادات الحديثة للجمعية الطبية الأمريكية والجمعية النفسية الأمريكية. تم تقليل الضمائر والأسماء الخاصة بالجنس، وتم تحقيق توازن حيث بقى بعضها، وحُذفت حيث لم تضف شيئًا إلى معنى النص. تناقش الفصول ا لمتعلقة بالوراثة)الفصل 4(، والغدد الصماء)الفصل 17(، والتشريح التناسلى)الفصل 27(الآن عدة أسباب بيولوجية تجعل من غير الممكن تصن يف الأشخاص ببساطة كذكور أو إناث من الناحية التشريحية أو الفسيولوجية أو السلوكية.

التغييرات الرئيسية حسب الفصل

الكتاب الذى بين يديك يحتوى على أكثر من 1600 تغيير منذ الطبعة التاسعة — أكثر من 500 تحديث فى المحتوى العلمى، وما يقرب من نفس العدد من التغييرات فى الفن والتصوير الفوتوغرافى، وأكثر من 600 تغيير فى أسلوب الكتابة والتنظيم لتحسين التدفق وسهولة الوصول للقارئ ا لطالب. لا يمكن سردها جميعًا هنا، ولكن هذه بعض التغييرات البارزة فى كل فصل.

الفصل الأول، المواضيع الرئيسية فى التشريح وعلم وظائف الأعضاء، يضيف الطبيبة والمؤلفة ميترودورا إلى التاريخ المبكر للطب الذى يهيمن عليه ا لذكور، ويصف التقدم فى التصوير المقطعى بالإصدار البوزيترونى)PET(للتشخيص المبكر لمرض الزهايمر.

أطلس أ، التوجيه العام لتشريح الإنسان، يقدم منظورًا جديدًا حول المساريق.

الفصل ٢، كيمياء الحياة، يحذف بعض المفاهيم الخاطئة الشائعة حول بنية الذرة والروابط الكيميائية.

الفصل ٣، الشكل والوظيفة الخلوية، يُحدّث حركة الأهداب ووظائف الميتوكوندريا، يصحح مفهوماً شائعاً حول حواء الميتوكوندريا، يضيف النسب الكروموسومى الذكرى، ويُحدّث متوسط العمر المتوقع لمرض التليف الكيسى.

الفصل ٤، الجينات ووظيفة الخلية، يصحح خرافة حول أن الخلايا الجسدية متطابقة وراثيًا، ويستبدل الذقن المشقوق بمرض الخلايا المنجلية كم ثال أكثر صحة لتحليل مربع بونيت للوراثة، ويحدث معلومات الوراثة الخاصة بالكروموسومات X و Y، ويضيف شرحًا كروموسوميًا لتنوع الجنس.

الفصل الخامس، الأنسجة البشرية، يتوسع فى الأهمية التنظيمية الحرارية للنسيج الدهنى البنى ويحدث حالة أبحاث الخلايا الجذعية والطب التح ديدى.

الفصل ٦، الجهاز الجلدى، يحتوى على قسم جديد حول أشكال الميلانين ومقالة جديدة عن تطور لون الجلد. يقدم تفسيرًا أفضل للبشرات السودا ء والبنية فى التعرف على الزرقة، الشحوب، وألوان مرضية أخرى. كما يُحدّث المنظورين الفسيولوجى والوظيفى لتجاعيد الجلد فى تأثير "أصابع ال برقوق"، وراثة لون الشعر، وعدة جوانب من الورم الميلانينى. تُصوّر خلايا الجلد الشجرية الآن بدقة أكبر من حيث الحجم والعدد فى الشكل ٣.٦.

الفصل السابع، نسيج العظام، يشمل الدور الصدرى للعظم، وأبحاث جديدة حول التنسج العظمى الغشائى، ومناقشة جديدة لهشاشة العظام، و صور أشعة سينية جديدة لكسر مضاعف فى الترقوة وإصلاح جراحى لكسر فى هضبة الظنبوب.

الفصل 8، الجهاز الهيكلى، أعاد تنظيم تسمية تشريح الهيكل العظمى بشكل واسع، خاصة الجمجمة، وحذف استخدام مفاتيح الألوان لتحديد العظام. أضاف شكلاً جديدًا يميز بين مجموعات العظام الوجهية والقحفية. تم تصحيح استخدام خاطئ للتهجئة البريطانية لبعض ميزات العظام)من *Gray's Anatomy*(لاستخدام التهجئة الأمريكية.

الفصل 10، الجهاز العضلى، أضاف الدور الغدى للعضلات وحسّن وصف حزم العضلات.

الفصل 11، النسيج العضلى، يلاحظ العدد المذهل للنوى فى كل خلية عضلية؛ يصف عملها، وعمل الخلايا الساتلية، فى إصلاح الإصابات الدقيقة للعضلات؛ يصف الترتيب غير المعتاد للميتوكندريا العميقة فى العضلات؛ يحدّث وصف الساركوميرات ويُظهر الآن ترتيب الخيوط الرقيقة والسميكة فى مقاطع عرضية للساركومير؛ يحتوى على تفاصيل جديدة عن الوحدات الحركية؛ ويُحدّث مرض الضمور العضلى.

الفصل 12، النسيج العصبى، يفسر الآن الضفيرة المعوية كفرع ثالث للجهاز العصبى الذاتى بحد ذاته. أضيفت معلومات جديدة عن التعدد الجين ى للخلايا العصبية ونسبة الخلايا العصبية إلى الخلايا الدبقية العصبية. تم شرح بنية المشبك بشكل أكثر تفصيلاً، بما فى ذلك جزيئات التصاق الخ لايا التى تربط الخلايا العصبية قبل وبعد المشبك، وأضيفت صورة جديدة بالمجهر الإلكترونى النافذ لمشبك. أضيفت معلومات جديدة عن التوا صل ثنائى الاتجاه عبر المشابك وعن ميكروبيوم الأمعاء كمصدر للناقلات العصبية.
تم تعديل الأشكال الكهربائية الفيزيولوجية 12.12 إلى 12.15 لتحسين وضوح الأيونات فى العرض الصفّى ولإظهار تغيرات الشحنة على غشاء الخلية العصبية.

الفصل 13، الحبل الشوكى، الأعصاب الشوكية، والمنعكسات الجسدية، يحتوى على إضافات واقعية موجزة حول سحب السائل الشوكى، تركيب الغلاف الع صبى، وإحصائيات إصابات الحبل الشوكى.

الفصل 14، الدماغ والأعصاب القحفية، يعرّف نوى الجهاز العصبى المركزى بشكل أكثر وضوحًا ويقدم حقائق جديدة عن التهاب السحايا، عدد الخلايا ا لعصبية فى الدماغ، وظائف السائل الدماغى الشوكى والنوم، اللوزة الدماغية، فقدان القدرة على الكلام)الأفازيا(، الأعصاب المحركة للعين والعصب ال ثلاثى التوائم، والألياف الحركية فى العصب البصرى. يحتوى على قسم جديد عن اكتشاف مفاجئ، نظام الغليمفات الدماغى، الذى يربط بين السائل ال دماغى الشوكى وسوائل الأنسجة مع الجهاز اللمفاوى والمناعى. وعكس قرار فى الإصدارات السابقة، عاد تصنيف الأعصاب القحفية إلى التسميات ال تقليدية التى تحدد الأعصاب الحركية على هذا النحو، وليس مختلطة، رغم احتوائها على ألياف حسية ذاتية.

الفصل 15، الجهاز العصبى الذاتى، يصف الآن الضفيرة المعوية بشكل أفضل ويعاملها كقسم ثالث من الجهاز العصبى الذاتى بدلاً من كونها جزءًا من القسم اللاودى؛ أضيف انخفاض ضغط الدم الانتصابى إلى جدول اضطرابات الجهاز العصبى الذاتى فى نهاية الفصل؛ وتم تحسين الشكل الذى يوضح التحكم المزدوج للجهاز العصبى الذاتى فى القزحية.

الفصل 16، أعضاء الحواس، يميز بشكل أفضل بين الإحساس والإدراك؛ يضيف إلى أهمية أجسام لاميلار فى القدمين للتوازن والتنسيق أثناء الو قوف والمشى؛ يضيف تعريفًا أكثر معيارية للألم؛ يحتوى على عدة إضافات حول حاسة التذوق؛ يضيف التطور

وجهات نظر حول التذوق والشم ودور الحواجب في التواصل؛ يصحح إمداد الدم لشبكية العين وأعداد خلايا القضبان والمخاريط؛ ويوضح بشكل أ
فضل كيف يتم تثبيت الشبكية بإحكام ضد المشيمية. يحتوي على شكل جديد لمسارات المعالجة البصرية الظهرية والبطنية.

الفصل 17، الجهاز الصماء، يُحدّث معنى ونطاق الجهاز الصماء، يصحح سوء فهم شائع حول اسم الغدة الصنوبرية، يصحح تعصيب الغدة الصنو
برية، ويضيف الدور الصمائي للعضلات الهيكلية والدور الأبوي للأوكسيتوسين.

الفصل 18، الجهاز الدوري: الدم، يضيف دور خلايا الدم الحمراء في إزالة المناعة والوراثة غير المندلية لأنواع الدم، ويشرح التباينات الطاهرة بين أ
نواع دم الوالدين والذرية. يُحدّث طرق فقدان الحديد من الجسم، الترجمة الجينية في خلايا الدم الحمراء الناضجة، شيخوخة خلايا الدم الحمراء وال
تخلص منها، مرض الخلايا المنجلية، الفروق العرقية في توزيع أنواع الدم، وعلاج اللوكيميا والبقاء على قيد الحياة.

الفصل 19، الجهاز الدوري: القلب، يناقش التباين في عدد شرفات صمامات الأذين والبطين ويعيد كتابة مرض الشريان التاجي بشكل كبير، مع
شرح أفضل لتكوين وتركيب اللويحات التصلبية.

الفصل 20، الجهاز الدوري: الأوعية الدموية والدورة الدموية، يُحدّث مثبطات تكوين الأوعية الدموية للأورام، يحتوي على شكل جديد لاستخدام مقياس ضغ
ط الدم (sphygmomanometer)، ويضيف التشوه الشرياني الوريدي إلى جدول اضطرابات الأوعية الدموية.

الفصل 21، الجهاز اللمفاوي والمناعي، يغير اسم النظام وأعضائه وأنسجته إلى "اللمفاوي"، مع استخدام "لمفاوي" فقط للأوعية. يحتوي على أق
سام جديدة حول COVID-19 والاتصال المكتشف حديثًا بين الدماغ والجهاز اللمفاوي والمناعي، نظام الغليمفاوي. يضيف تداعيات انكماش الغد
ة الزعترية على الاستجابات المناعية لدى كبار السن؛ مفهوم الشيخوخة المناعية؛ فخ العدلات خارج الخلية وسموم الحمضات كدفاعات مناعية؛ د
ور بروتين C التفاعلي وقيمته التشخيصية في الالتهاب؛ وآلية إزالة الطحال لخلايا الدم الحمراء المتقادمة. يحتوي على رسومات جديدة لنظام الغل
يمفاوي، تكتل البكتيريا، وفيروس SARS-CoV-2 وطريقة غزوه.

الفصل 22، الجهاز التنفسي، يحتوي على مزيد من المعلومات حول دورة التنفس الأنفية ومساهمتها في الشم؛ لعنة أونداين؛ دور الرئتين في إن
تاج الصفائح الدموية؛ التدخين الإلكتروني وأمراض الرئة؛ والدورة الدموية الرئوية. يُحدّث عدد وبنية الحويصلات الهوائية الرئوية ويحتوي على صور
جديدة للمجهر الضوئي والمجهر الإلكتروني الماسح لتشريح الرئة.

الفصل 23، الجهاز البولي، يحتوي على صورة محسنة لغسيل الكلى الدموي.

الفصل 25، الجهاز الهضمي، يحتوي على منظور جديد لتشريح المساريق. يوسع التغطية للإحساس الذاتي للأسنان، وظائف اللعاب، وجوانب أخر
ى لصحة الفم؛ أدوار المخاط المعدي والخلايا الشجيرية في تعزيز التسامح مع مستضدات الطعام والبكتيريا المفيدة؛ سرطان القولون والمستقيم
(مع صورة جديدة)؛ الميكروبيوم القولوني؛ ومرض كرون والتهاب القولون التقرحي.

الفصل 26، التغذية والتمثيل الغذائي، يُحدّث المقالة حول السمنة ومؤشر كتلة الجسم. يصحح سوء فهم حول العائد الحراري من الكربوهيدرات و
الدهون، ويحذف المعلومات القديمة المتعلقة بالكوليسترول الغذائي، ويحسن توضيح بنية البروتينات الدهنية. يضيف معلومات عن تنظيم حرارة
الرضع والأنسجة الدهنية البنية، ويوضح أمراض ضربة الشمس والإرهاق الحراري، ويحسن صياغة اللغة المتعلقة بالإدمان على الكحول، ويضيف
صورة بالرنين المغناطيسي لتأثير تعاطي الكحول المزمن على الدماغ.

الفصل 27، الجهاز التناسلي الذكري، يحتوي على قسم جديد (27.1e) حول الأسس البيولوجية للجنس والخصائص الجنسية المتداخلة، وإعادة
صياغة حول الشيخوخة والوظيفة الجنسية للذكور. يضيف شروحات حول تطور كيس الصفن، الحاجز الدموي-الخصوي، الجسور بين الخلايا المنو
ية تكوّن الأكرزوم، الجدول الزمني لتكوين الحيوانات المنوية، دور حركة الأنبوب المنوي في تدفق الحيوانات المنوية إلى البربخ، ودور الجسم الإس
فنجي في الحفاظ على بقاء مجرى البول مفتوحًا أثناء الانتصاب. كما يُحدّث المعلومات حول سرطان الخصية وفيروس الورم الحليمي البشري. تم
ربط شكل لتكوين الحيوانات المنوية بالنسبة لخلايا الممرضة بمخطط انسيابي أبسط للخطوات الأساسية للعملية.

الفصل 28، الجهاز التناسلي الأنثوي، يضيف معلومات حول تنوعات موضع الرحم، أهمية الأهداب الرحمية، دور البظر والنشوة الأنثوية في احت
باس السائل المنوي وحدوث الحمل، صلة غثيان الصباح بصحة الجنين، إشارات الجنين للاستعداد للولادة، فوائد الرضاعة الطبيعية لكثافة عظام ا
لأم، والمشكلات في تطوير موانع حمل كيميائية للذكور.
يحتوي على أشكال جديدة لتشريح المبيض والجدول الزمني وتداخل مجموعات جريبات المبيض النامية، مع شرح يربط جدول نضج الجريب الذي يستمر 290 يومًا
بإيقاع الإباضة الذي يستمر 28 يومًا.

الفصل 29، التطور البشري والشيخوخة، يحتوي على إعادة صياغة شاملة لفهم جديد لهجرة الأمشاج، تهيئة الحيوانات المنوية، والتخصيب، مع ر
سوم توضيحية معدلة لتصحيح المفاهيم الخاطئة الشائعة ومتوافقة مع الأدبيات الحديثة. يقدم هذا الفصل الآن مناقشات جديدة أو موسعة حول
شيخوخة القرنية؛ انكماش الغدة الزعترية والمناعة في الشيخوخة؛ نظرية التيلومير؛ تغير إحصائيات الوفيات ومتوسط العمر المتوقع بسبب COV
ID-19؛ ومفاهيم الموت السريري. تُحدّث المقالة الختامية في الفصل معلومات حول تقنيات الإنجاب المساعدة.

الشكر والتقدير

المراجعة من قبل الأقران جزء حاسم من العملية العلمية، ومهمة جدًا لضمان استمرار محتوى هذا الكتاب فى تلبية احتياجات المدرسين والطلاب الذين يستخدمونه. أنا ممتن للأشخاص الذين يوافقون على المشاركة فى هذه العملية وأشكرهم على وقتهم ومواهبهم وتعليقاتهم. المراجعون لهذا النص، المدرجون هنا، قدموا تعليقات مهمة ساعدتنا فى تحسين وتحديث المكونات المطبوعة والرقمية لهذا البرنامج.

أشكر بشكل خاص الدكتور جاستن يورك من كلية مجتمع غلينديل، غلينديل، أريزونا. قام جاستن بتحليل الكتاب بأكمله بتفصيل دقيق وقدم عددًا لا يحصى من الاقتراحات الثاقبة حول المحتوى العلمى، التنظيم، أسلوب الكتابة، الفن، التصوير الفوتوغرافى، وعروض باوربوينت للمدرسين. يعود الكثير من التحسين فى هذا الإصدار إلى مساهمات جاستن.

أنا مدين أيضًا بالكثير للبريد الإلكترونى العفوى من الزملاء والطلاب حول العالم الذين أخبرونى بما أعجبهم فى الكتاب وما يمكن تحسينه، ونبهونى إلى التصحيحات اللازمة. كما أننى ممتن للعديد من المناقشات المثمرة فى قائمة HAPS-L التابعة لجمعية التشريح وعلم وظائف الأعضاء البشرية، وللأخصائيين فى التشريح، وعلم وظائف الأعضاء، والأطباء، وغيرهم من الخبراء الذين تعرفت عليهم فى Quora.com، والذين قدموا العديد من الأفكار المفيدة والاستشهادات الأدبية الداعمة للتطورات الجديدة فى التشريح وعلم وظائف الأعضاء.

كريستينا جان قامت بتحديث بنك الأسئلة وبنك الاختبارات ليتوافق بشكل وثيق مع العديد من التغييرات التى أُجريت فى الطبعة العاشرة هذه وعززت بشكل كبير القيمة التعليمية لهذا الكتاب من خلال عملها على إنشاء أدوات التقييم الذاتى ومزامنة موارد McGraw Hill's Connect مع الكتاب المدرسى. لقد ساهم عمل كريستينا بشكل كبير فى رضا الطلاب والمدرسين عن حزمة وسائل التعلم الشاملة لدينا، وفى نجاح الطلاب أثناء مواجهتهم لتحديات التعلم فى مادة التشريح وعلم وظائف الأعضاء فى طريقهم نحو أهدافهم المهنية.

كما أود أن أعبر عن تقديرى العميق لفريق كتب علوم الحياة فى McGraw Hill الذين عملوا معى فى هذا المشروع:
ماثيو غارسيا، مدير الحافظة التنفيذية؛ مونيكا لويس، مديرة التسويق؛ ميليسا سيغميلر، مطورة المنتجات العليا؛ فيكى كروغ، مديرة مشروع المحتوى العليا؛ برنت ديلا كروز، مدير مشروع محتوى التقييم الرئيسى؛ لورى هانكوك، أخصائية ترخيص المحتوى العليا؛ ديفيد هاش، المصمم الرئيسى؛ ومايك ماكجى، محرر نصوص حر.

المراجعون للطبعة العاشرة

سارة بيلز
كلية مجتمع مورين فالى

شيريل كريستنسن
كلية ولاية بالم بيتش

جيمس سكوت ديفيس
كلية بلوغراس المجتمعية والتقنية

باجى جورج
كلية جورجيا جوينيت

شيرى بوكانان غريغورى
كلية موتلو الحكومية المجتمعية

فانيسا هröمان
كلية براورد

مالا جاياتيليك
كلية روان فى مقاطعة برلنغتون

روبرت كين
كلية روان فى مقاطعة برلنغتون

ناثانيال م. كينغ
كلية ولاية بالم بيتش

جيفرى كينغسبرى
جامعة ولاية أريزونا

لين ليتيمان
كلية روان بمقاطعة برلنغتون

ناومى ماتشيل
كلية مجتمع مقاطعة ديلاوير

جولى ماير
كلية أوينز المجتمعية

بروس مارينغ
كلية ولاية دايتونا

مارفن ميريت
جامعة كيزر، فورت لودرديل

تود ميلر
كلية هانتر فى جامعة مدينة نيويورك

إيفلين موبلى
كلية تشاتانوغا الحكومية المجتمعية

كريستين بيريكونى
كلية مقاطعة أوشن

راجى سبرامانيان
كلية شمال فيرجينيا المجتمعية

أفشين تافاسولى
كلية شمال فيرجينيا المجتمعية

ديلون واشو كروبس
جامعة ولاية أريزونا

الإهداء

أهدى هذا الكتاب إلى

كولين ويتلى

لإدراكه منذ 30 عامًا أن لدى كتابًا بداخلى،
ووضعه الأساس لمسيرتى فى تأليف الكتب الدراسية.

قصة

الشكل والوظيفة

تسلسل فصول مبتكر

يتم تقديم بعض الفصول والمواضيع بتسلسل أكثر تعليمًا من الترتيب التقليدي.

الجهاز البولى مقدم بالقرب من الجهازين الدورى وا لتنفس

تصنع معظم الكتب الدراسية هذا الجهاز قرب نهاية الكتاب بسبب علاقاته ال تشريحية والتطورية مع الجهاز التناسلى. ومع ذلك، فإن روابطه الفسيولوجي ة مع الجهازين الدورى والتنفس هى أكثر أهمية بكثير. باستثناء انحراف ضرور ى حول الجهاز اللمفاوى والمناعة، يتبع الجهاز الدورى تقريبًا مباشرة الجهازي ن التنفسى والبولى، اللذين ينظمان تركيبة الدم وتعتمد آلياتهما الوظيفية ع لى المبادئ التى تم تغطيتها مؤخرًا حول تدفق الدم وتبادل الشعيرات الدمو ية.

العرض المبكر للوراثة

تُعرض المبادئ الأساسية للوراثة فى الصفحات القليلة الأخيرة من الفصل الرابع بدلاً من الجزء الخلفى من الكتاب لدمج أ فضل بين علم الوراثة الجزيئى ووراثة مندل. كما أن هذا التن طيم يُعد الطلاب لتعلم الصفات والحالات الوراثية مثل ا لتليف الكيسى، عمى الألوان، فصائل الدم، الهيموفيليا، جينات السرطان، ومرض الخلايا المنجلية من خلال تعليمهم أ ولاً عن الأليلات السائدة والمتنحية، النمط الجينى والنمط ال ظاهرى، والارتباط الجنسى.

المحتويات الموجزة

تشريح العضلات و الفسيولوجيا يتبع الهيكل العظمى والمفاصل

يتم تناول الشكل الوظيفى للهيكل العظمى والمفاصل والعضلات فى ثلاثة فصول متتالية، من الفصل ٨ إلى الفصل ١٠، بحيث عندما يتعلم الطلاب مرفقات العضلا ت، يكون ذلك بعد فصلين فقط م ن تعلم أسماء ميزات العظام ذات ال صلة. وعندما يتعلمون حركات العضلا ت، يكون ذلك فى الفصل الأول بعد تعلم مصطلحات حركات المفاصل.

يجلب هذا الترتيب ميزة أخر ى: يتم تناول فسيولوجيا خلايا الع ضلات والأعصاب فى فصلين متتالي ن)11 و12(، مما يجعل معالجتهما متكاملة بشكل وثيق فيما يتعلق بالمشابك العصبية والناقلات الع صبية والكهرباء الغشائية.

قصة
الشكل والوظيفة

أدوات التعلم

تصاميم فصول جذابة

• الفصول منظمة بناءً على طريقة تعلم الطلاب.
• العناوين الفرعية المتكررة والنتائج التعليمية المتوقعة تساعد الطلاب على تخطيط وقت الدراسة واستراتيجيات المراجعة.

رؤى أعمق تسلط الضوء على مجالات الاهتمام والصلة المهنية للطلاب.

مخططات الفصول تقدم معاينات سريعة للمحتوى.

الفصل
7
BONE TISSUE



خلية عظمية (عظمية) محاطة بمصفوفة عظمية متكلسة
عين العلم / مصدر العلم

رؤى أعمق
7.1 تاريخ الطب: تلوث العظام
7.2 التطبيق السريري: التقزم العظمي
7.3 التطبيق السريري: الكساح و لين العظام
7.4 التطبيق السريري: نقص العظم و هشاشة العظام

7.4 فسيولوجيا النسيج العظمي
أ7.4 ترسيب المعادن وامتصاصها
ب7.4 توازن الكالسيوم
ج7.4 تنظيم الفوسفات
د7.4 عوامل أخرى تؤثر على العظام
7.5 اضطرابات العظام
أ7.5 الكسور وإصلاحها
ب7.5 اضطرابات العظام الأخرى
اتصالات النظام
دليل الدراسة

مخطط الفصل
7.1 الأنسجة والأعضاء في الجهاز الهيكلي
7.1a وظائف الهيكل العظمي
7.1b العظام والنسيج العظمي
ج7.1 الخصائص العامة للعظام
7.2 علم الأنسجة للنسيج العظمي
7.2a خلايا العظام
7.2b المصفوفة
7.2c العظم المضغوط
7.2d العظم الإسفنجي
7.2e نخاع العظم
7.3 تطور العظم
7.3a التنسج العظمي الغشائي
7.3b التنسج العظمي الغضروفي
7.3c نمو العظام وإعادة تشكيله

196

Anatomy & Physiology Revealed 4.0
الوحدة 5: الجهاز الهيكلي

الجزء الأول تنظيم الجسم 74

مراجعة سريعة
● نقل المادة عبر أغشية الخلايا يتبع مبادئ التدفق حسب التدرجات (انظر القسم 1.6e).
● لفهم كيف يبدو سطح الخلية بشكل كافٍ، من الضروري أن تفهم الجليكوليبيدات والجليكوبروتينات، بالإضافة إلى الفسفوليبيدات وطبيعتها الأمفيباثية (انظر الأقسام 2.4c و 2.4d).
● تحتوي بروتينات أغشية الخلايا على مجموعة متنوعة كبيرة من الوظائف. لفهم هذه الوظائف، يعتمد ذلك على التعرف على وظائف البروتينات بشكل عام وكيف تعتمد وظيفة البروتين على البنية الثلاثية (انظر "بنية البروتين" و"وظائف البروتين" في القسم 2.4e).

جميع الكائنات الحية، من أبسطها إلى أعقدها، تتكون من خلايا—سواء كانت الخلية الوحيدة للبكتيريا أو التريليونات من الخلايا التي تشكل جسم الإنسان. هذه الخلايا مسؤولة عن جميع الخصائص الهيكلية والوظيفية للكائن الحي. لذلك، فإن معرفة الخلايا ضرورية لفهم حقيقي لكيفية عمل جسم الإنسان، وآليات المرض، ومنطق العلاج. وهكذا، يقدم هذا الفصل والفصل التالي أساسيات بيولوجيا الخلية في جسم الإنسان، بينما توسع الفصول اللاحقة هذه المعلومات عند دراسة التركيب والوظيفة الخلوية المتخصصة للأعضاء المحددة.

مفاهيم التركيب الخلوي
نتائج التعلم المتوقعة
عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على:
أ. مناقشة تطور ومبادئ نظرية الخلية الحديثة؛
ب. وصف أشكال الخلايا من مصطلحاتها الوصفية؛
ج. ذكر نطاق حجم الخلايا البشرية ومناقشة العوامل التي تحد من حجمها؛
د. مناقشة الطريقة التي غيرت بها التطورات في المجهر رؤيتنا لتركيب الخلية؛ و
هـ. تحديد المكونات الرئيسية للخلية.

أ3.1 تطور نظرية الخلية
علم الخلايا، الدراسة العلمية للخلايا، وُلد في عام 1663 عندما لاحظ روبرت هوك جدران الخلايا الفارغة في الفلين وابتكر كلمة cellulae ("الخلايا الصغيرة") لوصفها (انظر القسم 1.2). سرعان ما درس شرائح رقيقة من الخشب الطازج ورأى خلايا حية

"مليئة بالعصائر" — وهو سائل سُمي لاحقًا السيتوبلازم. وبحلول منتصف القرن التاسع عشر، مع تطور الأدوات والأساليب، توصل العلماء إلى تعميمات معينة حول الخلايا التي تنطبق عليها الآن نظرية الخلية. ويُنسب ذلك بشكل خاص إلى الطبيب-الفسيولوجي الألماني تيودور شوان (1810–82) والعالم النباتي الألماني ماتياس شلايدن (1804–81). وعلى الرغم من تقديمها بطرق مختلفة، فإن أهم نقاط نظرية الخلية هي:
• جميع الكائنات الحية تتكون من خلية واحدة أو أكثر.
• الخلايا هي الوحدات الهيكلية والوظيفية الأساسية لجميع الكائنات الحية. لا شيء أبسط من الخلية، مثل عضية خلوية، أو إنزيم، أو الحمض النووي، يعتبر حيًا بحد ذاته.
• جميع أنشطة الكائن الحي (بما في ذلك جسم الإنسان) تنشأ من أنشطة خلاياه المكونة له. لذلك، فإن علم الخلايا هو الأساس لكل الفهم البيولوجي للحياة.
• جميع الخلايا تنشأ من خلايا موجودة مسبقًا، وليس من مادة غير حية، وتنقل المعلومات الوراثية من جيل إلى جيل من الخلايا.

ب1.3 أشكال وأحجام الخلايا
سوف نفحص قريبًا بنية الخلية العامة، لكن التعميمات التي نستخلصها لا ينبغي أن تعمرك بتنوع أشكال ووظائف الخلايا في الإنسان. هناك حوالي ۲۰۰ نوع من الخلايا في جسم الإنسان، بأشكال وأحجام ووظائف متنوعة.
غالبًا ما تشير أوصاف بنية الأعضاء والأنسجة إلى أشكال الخلايا بالمصطلحات التالية (الشكل ۱.۳):
• مفلطحة — (سكل رقيق، مسطح، وقشري، غالبًا مع انتفاخ حيث يقع النواة...) تبطن الخلايا المفلطحة المجرى الهوائية (الحويصلات) في الرئتين، وتشكل الطبقة السطحية (البشرة) للجلد.
• مكعبة — (تبدو مربعة في المقاطع، متساوية تقريبًا في الارتفاع والعرض؛ خلايا الكبد مثال جيد عليها.
• عمودية — أطول بوضوح من عرضها، مثل خلايا البطانة الداخلية للمعدة والأمعاء.
• متعددة الأضلاع — ذات أشكال زاوية غير منتظمة بأربعة أو خمسة أو أكثر من الجوانب...
• نجمية — تمتلك عدة نتوءات مدببة تبرز من جسم الخلية، مما يمنحها شكلًا يشبه النجمة إلى حد ما. أجسام الخلايا في العديد من الخلايا العصبية تكون نجمية.

squam = قشرة؛ cub = مكعب؛ poly = كثير؛ stell = نجم

يبدأ كل فصل بـ مراجعة لتأكيد الترابط بين المفاهيم، وهو مفيد بشكل خاص للطلاب البالغين العائدين إلى الفصل الدراسي، ويعمل كأداة مساعدة للمدرسين عند تدريس الفصول بترتيب غير متسلسل.

يبدأ كل قسم رئيسي بـ النتائج التعليمية المتوقعة لمساعدة القراء على التركيز على المفاهيم الكبرى وجعل نتيجة الدورة موجهة. كما يساعد هذا المدرسين في تنظيم دوراتهم حول النتائج التعليمية المتوقعة.

تقييمات متدرجة بناءً على النتائج التعليمية الرئيسية

• الفصول مقسمة إلى أقسام قصيرة، مما يمكّن الطلاب من تحديد أهداف محددة لفترات دراسة قصيرة.
• الأسئلة في نهاية الأقسام تتيح للطلاب التحقق من فهمهم قبل الانتقال إلى القسم التالي.

الأسئلة فى تسميات الأشكال و عناصر "طبق ما تعرفه" تحفز الطلاب على التفكير بشكل أعمقحول تداعيات وتط بيقات ما تعلموه. هذا يساعد الطلاب على ممارسة مهارات ا لتفكير العلياطوال الفصل.

المفاصل الغضروفية الليفية (Symphyses)

9.1 ح المفاصل الغضروفية

المفاصل الغضروفية المتصلة بالغضروف الزجاجي (Synchondroses)

طبق ما تعرفه

المفاصل بين الفقرات هي مفاصل تلاحمية فقط فى ا لمنطقة العنقية وحتى القطنية. كيف تصف مفاصل ال فقرات العجزية والعصعصية لدى شخص بالغ فى منت صف العمر؟

القص، عظم الترقوة، الضلع 1، الغ ضروف الضلعى، القرص بين الفقرى (الغضروف الليفي)، جسم الفقرة، القرص العانى (الغضروف الليفي)، الارتفاق العانى

الشكل 9.4 المفاصل الغضروفية. (أ) ترامن غضروفي، ممثل بالغضرو ف الضلعى الذي يربط الضلع 1 بعظم ة القص. (ب) الارتفاق العاني. (ح) الأقراص بين الفقرات، التي تربط الفقرات المجاورة ببعضها البع ض بواسطة الارتفاقات.

ما الفرق بين الارتفاق العا نى والقرص العانى؟

دليل الدراسة فى نهاية الفصل يقدم عدة طرق للتقييم مفيدة لكل من الطلاب و المدرسين.

تقييم نتائج تعلمك يوفر للطلاب مخطط دراسة للمراجعة، و يلبى احتياجات المدرسين الذين تتطلب كلياتهم مناهج موجهة نحو النتائج وتقييم تحقيق الطلاب للنتائج التعليمية المتوقعة.

قيّم نتائج تعلمك

9.1 المفاصل وتصنيفها

Testing Your Recall

الإجابات فى الملحق أ

أسئلة نهاية الفصل تبنى على جميع مستويات تصنيف بلوم فى الأقسام ل

1. اختبار الاستدعاء البسيط والتفكير التحليلي؛
2. بناء المفردات الطبية؛ و
3. تطبيق المعرفة الأساسية على مشاكل سريرية جديدة وحالات أخرى.

بناء مفرداتك الطبية

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

ما الخطأ فى هذه العبارات؟ الأسئلة تتناول تصنيف بلوم بشكل أعمق من خلال مطالبة الطالب بشرح لماذا العبارات الخاطئة غير صحيحة.

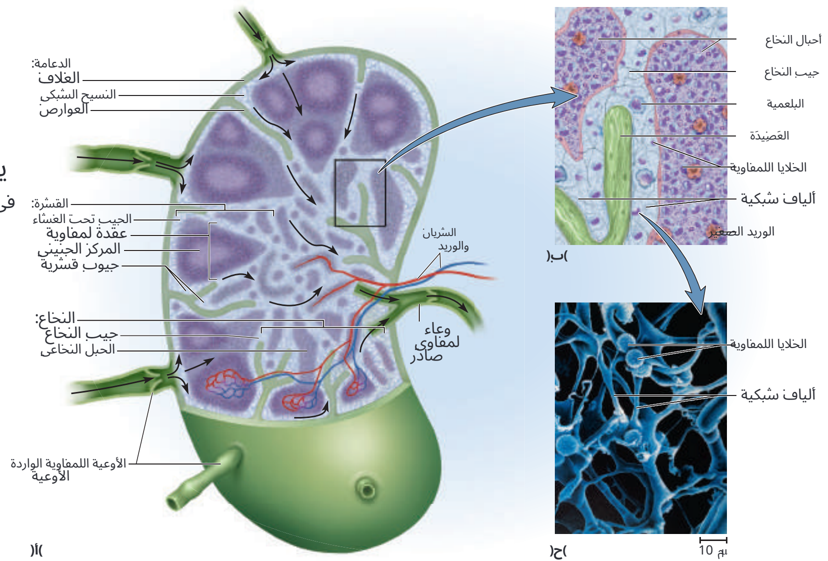
STUDY GUIDE

اختبر فهمك

اختبار فهمك الأسئلة تتناول تصنيف بلوم متجاوزة الاستدعاء إلى تطبيق الأفكار.

الأعمال الفنية التي تلهم التعلم

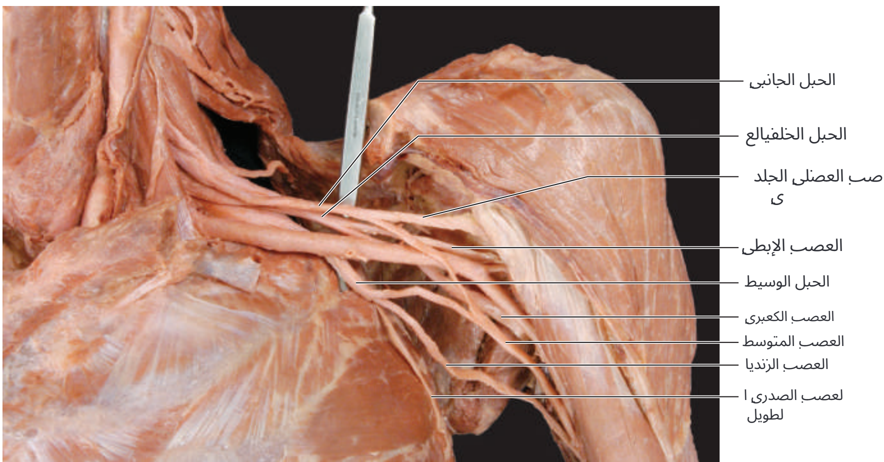
يصنع برنامج الفن الرائع في هذا الكتاب المدرسي المعيار في التشريح وعلم وظائف الأعضاء. تم إنشاء مجموعة مذهلة من الأعمال الفنية والصور بمساعدة مجموعات تركيز فنية وبملاحظات من مئات مراجعات الدقة.



فرانسيس ليروى، بايوكوزموس / ساينس سورس

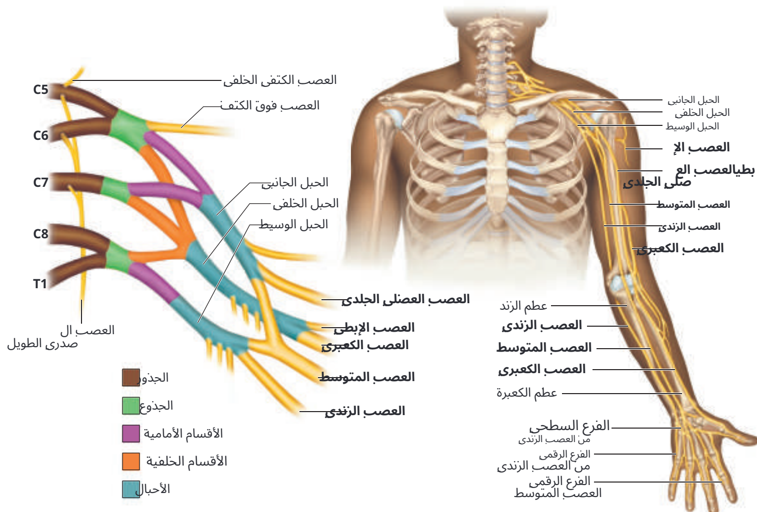
رسوم توضيحية حية

الأنسجة الغنية والتظليل والألوان الجريئة والزاهية تُحيي الهياكل.



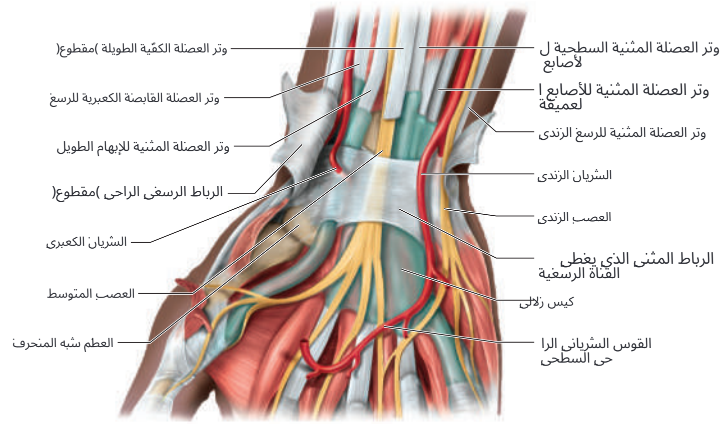
كريستين إكل / ماكجرو هيل

يتم إقران تشريح الجثث برسوم توضيحي ة مرسومة بعناية لإظهارالتفاصيل البشر ية المعقدة.

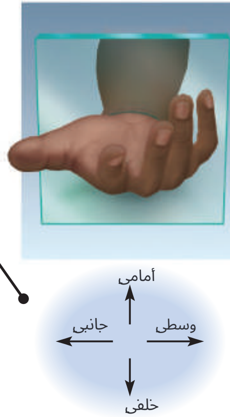


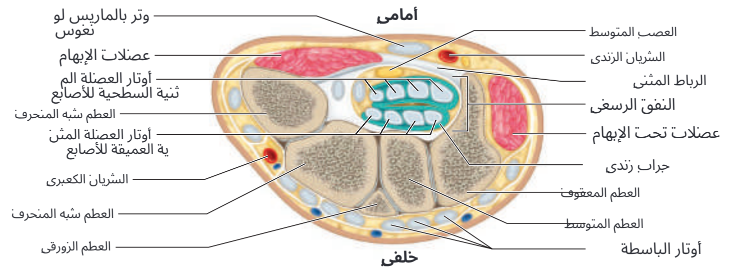
أدوات التوجيه

تدمج رسومات سالادين أدوات لمساعدة الطلاب على التوجيه السريع داخل الشكل وإجراء الروابط بين الأفكار.



)أ(منظر أمامى





)ب(مقطع عرضى

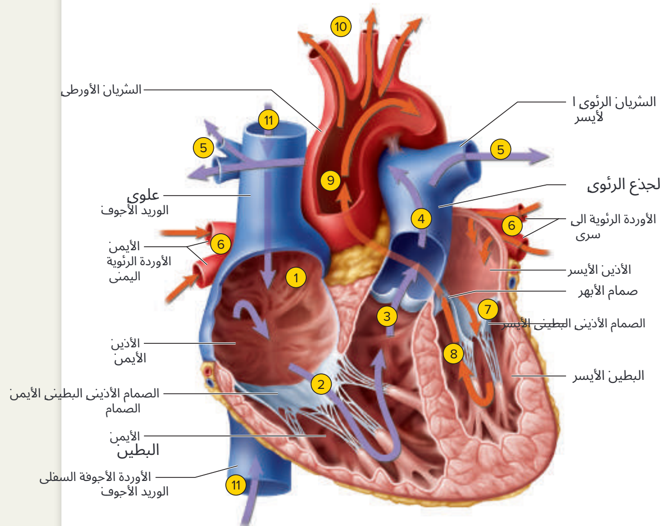
معالجة الأشكال

يقوم سالادين بتقسيم العمليات الفسيولوجية ا لمعقدة إلى خطوات مرقمة لتقديم مقدمة يمكن التحكم بها للمفاهيم الصعبة.

مساعد على التعلم

•رسوم توضيحية سهلة الفهم للعملية

•أدوات تساعد الطلاب على التوجيه بسهولة



1. يدخل الدم الأذين الأيمن من الوريدين الأ جوفين العلوى والسفلى.
2. يتدفق الدم فى الأذين الأيمن عبر الصمام الأذينى ا لبطينى الأيمن إلى البطين الأيمن.
3. انقباض البطين الأيمن يدفع الصما م الرئوى للفتح.
4. يتدفق الدم عبر الصمام الرئوى إلى ال جذع الرئوى.
5. يتم توزيع الدم عبر الشرايين الرئوية اليمنى واليسرى إلى الرئتين، حيث يفرغ ثانى أكسيد ال كربون ويحمّل الأكسجين.
6. يعود الدم من الرئتين عبر الأوردة الرئوية إلى الأذين الأيسر.
7. يتدفق الدم فى الأذين الأيسر عبر الصمام الأذينى ا لبطينى الأيسر إلى البطين الأيسر.
8. انقباض البطين الأيسر)بالتزامن مع الخطوة 3(يدفع الصمام الأورطى للفتح.
9. يتدفق الدم عبر الصمام الأورطى إلى الشريا ن الأورطى الصاعد.
10. الدم فى الشريان الأورطى يُوزع إلى كل عضو فى الجسم، حيث يفرغ الأكسجين 2O ويحمل ثانى أكسيد الكربون 2CO.
11. يعود الدم إلى الأذين الأيمن عبر الأوردة الأجوفة.

McGraw Hill connect®

المدرسون

نجاح الطالب يبدأ بك

أدوات لتعزيز صوتك الفريد

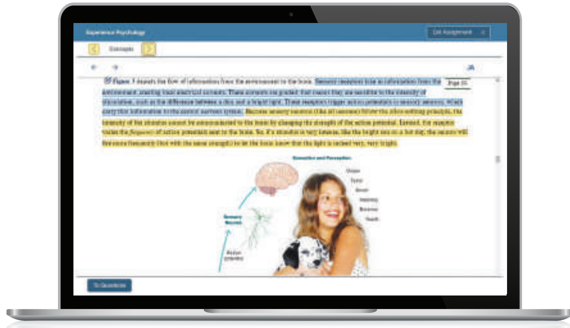
هل تريد بناء دورتك الخاصة؟ لا مشكلة. هل تفضل استخدام دورة مُعد
ة مسبقًا ومتوافقة مع OLC؟ سهل. هل تريد إجراء تغييرات طوال الفصل الدراس
ي؟ بالتأكيد. وستوفر الوقت أيضًا مع التصحيح التلقائي في Connect.

65%
وقت أقل
لتصحيح الدرجات

مسار فريد لكل طالب

في Connect، يمكن للمدرسين تعيين تجربة قراءة تكيفية مع
SmartBook® 2.0. مستندة إلى مبادئ علم التعلم
المتقدم، يوفر SmartBook 2.0 لكل طالب تجربة شخص
ية، تركز الطلاب على فجوات تعلمهم، مما يضمن أن الو
قت الذي يقضونه في الدراسة هو وقت مستغل بشكل جيد.

mheducation.com/highered/connect/smartbook



حاسوب محمول: Getty Images؛ امرأة/كلب: جورج دويل/ Getty Images

حلول ل
تحدياتك

المنتج ليس حلاً. الحلول الحقيقية
ميسورة التكلفة وموثوقة، وتأتي مع
تدريب ودعم مستمر عندما تحتاجه وبالط
ريقة التي تريدها. قم بزيارة supportateve
rystep.com لمشاهدة الفيديوهات
والموارد التي يمكنك أنت وطلابك اس
تخدامها طوال الفصل الدراسي.

حلول ميسورة التكلفة،
قيمة مضافة

اجعل التكنولوجيا تعمل لصالحك مع
تكامل نظام إدارة التعلم (LMS) للوصول بتسجيل دخول واحد،
الوصول عبر الهاتف المحمول إلى الكتاب الرقمي،
والتقارير التي تظهر بسرعة كيف
يؤدي كل طالب من طلابك. ومع
برنامج الوصول الشامل لدينا، يمكنك
توفير كل هذه الأدوات بأقل
سعر متاح في السوق لطلابك.
اسأل ممثل McGraw Hill الخاص بك
لمزيد من المعلومات.

SUPPORT AT every step

الطلاب

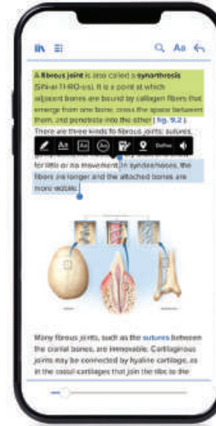
احصل على التعلم الذى يناسبك

أدوات فعالة للدراسة بكفاءة

تم تصميم Connect لمساعدتك على أن تكون أكثر إنتاجية باستخدام أدوات بسيطة ومرنة وبديهية تعطم وقت دراستك وتلبى احتياجاتك التعليمية الفردية. احصل على تعلم يناسبك مع Connect.

ادرس فى أى وقت وأى مكان

قم بتنزيل تطبيق ReadAnywhere® المجانى وادخ
ل إلى كتابك الإلكترونى عبر الإنترنت، SmartBook
® 2.0، أو مهام التعلم التكيفية عندما يكون ذلك منا
سبًا، حتى إذا كنت غير متصل بالإنترنت. ونظرًا لأن ا
لتطبيق يتزامن تلقائيًا مع حساب Connect الخاص بك،
فإن جميع أعمالك متاحة فى كل مرة تفتح فيها التطبيق.
لمعرفة المزيد، قم بزيارة mheduc
ation.com/readanywhere



"لقد أعجبنى هذا ا
لتطبيق حقًا—لقد سهّ
ل الدراسة عندما لا
يكون لديك كتابك الن
صى أمامك."

- جوردان كانينغهام،
جامعة واشنطن الشرقية

iPhone: Getty Images

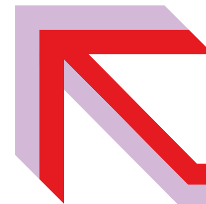


كل ما تحتاجه فى مكان واحد

دورة Connect الخاصة بك تحتوى على كل ما تحتاجه—سواء كنت تقرأ كتابك الإلكترونى الرقمى أو تكمل الواجبات الدراسية، يجعل Connect من السهل إنجاز عملك.

التعلم للجميع

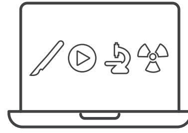
تعمل شركة McGraw Hill مباشرة مع أقسام خدما
ت الوصول وأعضاء هيئة التدريس لتلبية احتياجات ا
لتعلم لجميع الطلاب. يرجى الاتصال بمكتب خدمات الوصو
ل الخاص بك وطلب منهم إرسال بريد إلكترونى إلى access
ibility@mheducation.com، أو زيارة mh
education.com/about/accessibility ل
مزيد من المعلومات.



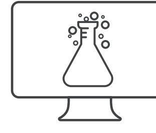
Mc Graw Hill

تعمل McGraw Hill Connect® على تمكين الطلاب من التعلم والنجاح في مساق علم التشريح ووظائف الأعضاء من خلال حلول رقمية سهلة الاستخدام.

Anatomy & Physiology Revealed (APR)
هي أداة تشريح تفاعلية للجثث
لتعزيز المحاضرة والمختبر.
يتميز بتصوير جثث حقيقية،
ورسوم متحركة، ونماذج ثلاثية الأبعاد تفاعلية،
وعلم الأنسجة، والتصوير والمزيد. الآن
قابل للتخصيص في Connect! والنتيجة؟
يتم إعداد الطلاب للمختبر،
ويتم إشراكهم في المادة، ويستخدمون
التفكير النقدي.

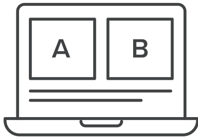


Anatomy & Physiology Revealed® 4.0



Virtual Labs

المختبرات الافتراضية تساعد على الربط بين النقاط
بين المختبر والمحاضرة، وتعزز
ثقة الطلاب ومعرفتهم،
وتحسن معدلات نجاح الطلاب.
تشجع الرسوم المتحركة التفاعلية والمحاكاة
أيضًا الطلاب على استكشاف
العمليات الفسيولوجية الرئيسية
والمفاهيم الصعبة. والنتيجة؟ الطلاب
منخرطون ومستعدون ويستخدمون
مهارات التفكير النقدي.



PracticeATLAS

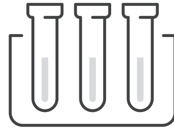
تم دمج أطلس التدريب لع
لم التشريح ووظائف الأعضاء في
APR، حيث يجمع صورًا لنماذ
ج تشريحية شائعة مع صور لجثث
مذهلة، مما يسمح للطلاب بم
مارسة تسمية الهياكل على كل
من النماذج والأجسام البشرية. وال
نتيجة؟
الطلاب أكثر استعدادًا
وانخراطًا، ويتجاوزون
الحفظ الأساسي.





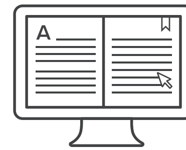
التحضير لعلم التشريح ووظائف الأعضاء

تحضير التشريح وعلم وظائف الأعضاء ي
ساعد الطلاب على الازدهار في م
ستوى الكلية في التشريح وعلم وظائ
ف الأعضاء من خلال تعزيز المعرفة في المجا
لات الرئيسية مثل بيولوجيا الخلية، الكيم
ياء، مهارات الدراسة، والرياضيات.
النتيجة؟ يكون الطلاب
أكثر استعدادًا لدورة
التشريح وعلم وظائف الأعضاء.



PhILS

PhILS (محاكاة المختبر التفاعلية
لعلم وظائف الأعضاء) هو الطريقة المثلى
لتعزيز مفاهيم علم وظائف الأعضاء الأساسية م
ن خلال تجارب مختبرية قوية. النتيجة؟
يكتسب الطلاب مهارات التفكير النقدي و
يصبحون أكثر استعدادًا للمختبر.



SmartBook®

SmartBook 2.0 يوفر تعلماً مخصصًا وف
قًا لاحتياجات كل طالب، ويتكيف باستمر
ار لتحديد ثغرات المعرفة وتركيز ال
تعلم على المفاهيم التي تتطلب دراسة إ
ضافية. النتيجة؟ يكون الطلاب منخر
طين بشدة في المحتوى وأكثر استعدادًا للم
حاضرة.

رسالة إلى
الطلاب

علم التربية - فن التعليم. لقد صممت فصولى لجعلها أسهل لك للدرا
سة ولأمنحك فرصة وفيرة للتحقق مما إذا كنت قد فهمت ما قرأته -
لاختبار نفسك)كما كنت أنصح دائمًا طلابى(قبل أن يختبرك المدرس.

يتم تقسيم كل فصل إلى أجزاء قصيرة وسهلة الهضم مع مجموعة
من نتائج التعلم المتوقعة فى بداية كل قسم، وأسئلة اختبار ذاتى)ق
بل المتابعة(بعد بضعة صفحات فقط. حتى إذا كان لديك 30 دقيقة
فقط للقراءة خلال استراحة الغداء أو أثناء ركوب الحافلة، يمكنك بسهو
لة قراءة أو مراجعة أحد هذه الأقسام القصيرة. هناك أيضًا العديد من أ
سئلة الاختبار الذاتى فى دليل الدراسة فى نهاية كل فصل، وفى بعض
تسميات الأشكال، وأسئلة "طبق ما تعرفه" موزعة فى جميع أنحاء كل
فصل. تغطى الأسئلة مجموعة واسعة من المهارات المعرفية، بدءًا من
استدعاء المصطلح البسيط إلى قدرتك على التقييم والتحليل وتطبيق
ما تعلمته على حالات سريرية جديدة أو مشكلات أخرى. فى عصر الن
شر الرقمى هذا، تتجاوز وسائل التعلم ما أكتبه فى الكتاب نفسه بكثير.
يتضمن SmartBook، المتوفر على الهواتف الذكية والأجهزة اللوحية،
جميع محتويات الكتاب بالإضافة إلى تقنية تكيفية يمكنها أن تقدم ل
ك تعليمًا مخصصًا، وتستهدف الفجوات الفريدة فى معرفتك، وتوجه
ك فى فهم واحتفاظك بالمادة الدراسية.

آمل أن تستمتع بدراستك لهذا الكتاب، لكننى أعلم أنه توجد دائمًا
طرق لجعله أفضل. فى الواقع، فإن الجودة التى قد تجدها فى هذا الإ
صدار تعود إلى حد كبير إلى الملاحظات التى تلقيتها من الطلاب فى ج
ميع أنحاء العالم. إذا وجدت أى أخطاء مطبعية أو غيرها من الأخطاء، أو
إذا كانت لديك أى اقتراحات للتحسين، أو إذا كان بإمكانى توضيح م
فهوم لك، أو حتى إذا أردت فقط التعليق على شىء تحبه حقًا فى الك
تاب، آمل أن تشعر بالحرية فى الكتابة إلىّ. أتواصل كثيرًا مع الطلاب و
سيسعدنى سماع أخبارك.

كين سالادين
أستاذ متميز فى علم الأحياء، متقاعد
كلية جورجيا
ميليدجفيل، جورجيا 31061)الولايات المتحدة الأمريكية(
ksaladin2@windstream.net

عندما كنت صبيًا صغيرًا، أصبحت مهتمًا بما كنت أسميه آ
نذاك "دراسة الطبيعة" لسببين. الأول هو الجمال الخالص
للطبيعة. كنت أستمتع بكتب الأطفال التى تحتوى على ر
سومات وصور ملونة وفيرة للحيوانات والنباتات والمعادن والأحجار ال
كريمة. كان هذا التقدير الجمالى للطبيعة هو ما جعلنى أرغب فى معر
فة المزيد عنها وجعلنى سعيدًا عندما اكتشفت أننى يمكننى أن أجعل
منها مهنة. فى سن لاحق قليلاً، كان هناك شىء آخر جذبنى أكثر إلى ع
لم الأحياء وهو اكتشاف كتاب لديهم أسلوب فى التعبير—يمكنهم أسر
خيالى وفضولى بنثرهم الأنيق. بمجرد أن أصبحت كبيرًا بما يكفى للعم
ل بدوام جزئى، بدأت فى شراء كتب علم الحيوان والتشريح التى أبهرت
نى برشاقتها فى الكتابة وفنها وتصويرها المثير. أردت أن أكتب وأرسم
مثلهم بنفسى، وبدأت أعلّم نفسى من خلال التعلم من "الأساتذة". ق
ضيت العديد من الليالى المتأخرة فى غرفتى أتأمل فى مجهرى وجرار
ماء البركة، أكتب صفحة تلو الأخرى من المخطوطات، وأجرب القلم وا
لحبر كوسيلة فنية.كان "كتابى الأول " عبارة عن ورقة مكونة من 318
صفحة عن بعض الحيوانات الصغيرة فى البرك تُسمى الهيدرا، مع 53
رسماً توضيحياً بالحبر الهندى كتبتها لفصل الأحياء فى الصف العاشر
عندما كنت فى السادسة عشرة من عمرى)انظر الصفحة viii(.

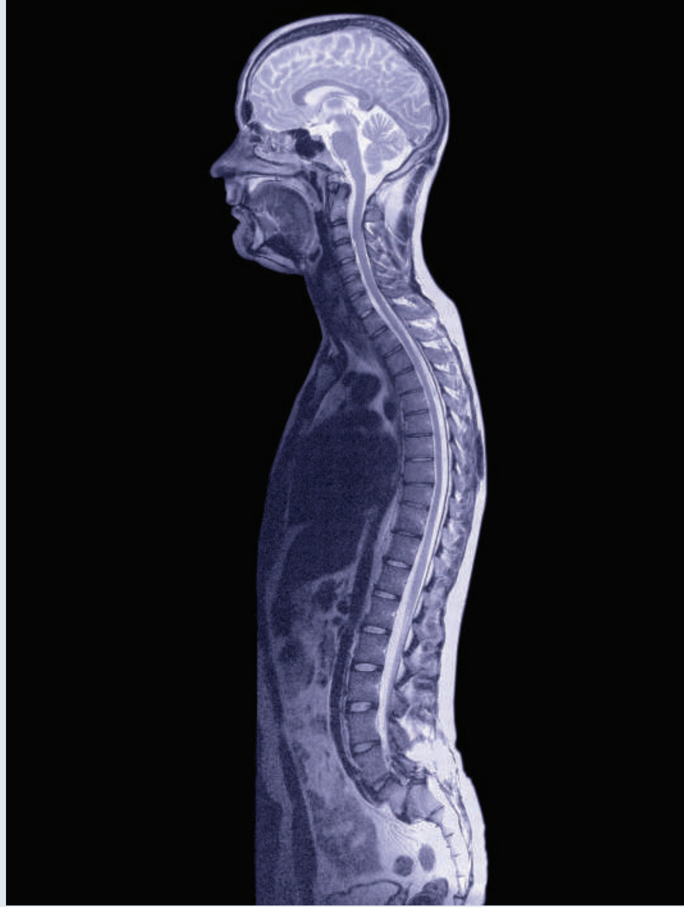
تقدم سريعًا حوالى ٠٣ عامًا، إلى الوقت الذى أصبحت فيه كاتبًا ل
لكتب الدراسية، ووجدت نفسى أجلب نفس متعة الكتابة والرسم إلى ا
لطبعة الأولى من هذا الكتاب الذى تمسكه الآن. لماذا؟ ليس فقط من
أجل الرضا الإبداعى الداخلى، بل لأننى أعتقد أنك مثلما كنت أنا—تقدر
كتابًا يقدم أكثر من مجرد المعلومات التى تحتاجها. أنت تقدر، على ما
أظن، الكتاب الذين يجعلون الأمر ممتعًا لك من خلال أسلوبهم العلمى
السردى ومفاهيمهم حول كيفية توضيح الأمور لإثارة الاهتمام وتسهى
ل الفهم.

أنا أعلم من طلابى أنفسهم، مع ذلك، أنك تحتاج إلى أكثر من مجر
د رسومات جذابة وقراءة ممتعة. لنكن صريحين—علم التشريح وعلم و
ظائف الأعضاء موضوع معقد وقد يبدو مهمة شاقة حتى لاكتساب مع
رفة أساسية عن جسم الإنسان. كان من الصعب حتى بالنسبة لى أن أ
تعلم)والتعلم لا ينتهى أبدًا(. لذلك بالإضافة إلى كتابة هذا الكتاب ببسا
طة، فكرت كثيرًا فى

تم ترك هذه الصفحة فارغة عمدًا

CHAPTER 1

الموضوعات الرئيسية فى التشريح والفسيولوجيا



MRI scan of the human body

ديفيد جريغز/صورة من ألامى ستوك

رؤى أعمق



الوحدة 1: توجيه الجسم

مخطط الفصل

لا يوجد فرع من فروع العلم يلامس حياتنا الشخصية بقدر علم أجسام نا. نحن ممتنون لثبات قلوبنا؛ ونندهش من قدرات العضلات والمفا صل التي يعرضها الرياضيون الأولمبيون؛ ونتأمل مع الفلاسفة في الألغاز ا لقديمة للعقل والعاطفة. نريد أن نعرف كيف يعمل جسمنا، وعندما يتعطل ، نريد أن نعرف ما الذي يحدث وما الذي يمكننا فعله حيال ذلك. حتى أقدم كتابات الحضارة تتضمن وثائق طبية تشهد على الدافع الأبدي للبشرية لمع رفة ذاتها. أنت على وشك دراسة موضوع قديم قدم الحضارة، لكنه ينمو بآلا ف المنشورات العلمية كل أسبوع.

هذا الكتاب هو مقدمة لتركيب ووظيفة الإنسان، علم أحياء جسم الإن سان. وهو موجه أساسًا ليمنحك أساسًا للدراسة المتقدمة في الرعاية الصح ية، وعلم وظائف التمرين، والطب المرضي، وغيرها من المجالات المتعلقة بالصحة واللياقة.

بعيدًا عن هذا الهدف، يمكنه أيضًا أن يمنحك شعورًا عميقًا بالرضا بفهم الذا ت.

على الرغم من أن هذا الموضوع مجزٍ وجذاب، إلا أن جسم الإنسان مع قد للغاية، وفهمه يتطلب منا استيعاب الكثير من التفاصيل. ستكون التفا صيل أكثر قابلية للإدارة إذا ربطناها ببعض المفاهيم العامة الموحدة.

لذلك، فإن هدف هذا الفصل هو تقديم هذه المفاهيم ووضع بقية الكتاب في منظورها الصحيح. ندرس التطور التاريخي للتشريح وعلم وظائف الأع ضاء، وعمليات التفكير التي أدت إلى المعرفة في هذا الكتاب، ومعنى الحيا ة البشرية، وبعض المفاهيم المركزية في علم وظائف الأعضاء، وكيفية فهم المصطلحات الطبية بشكل أفضل.

نطاق التشريح والفسيولوجيا 1.1

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. تعريف التشريح و الفسيولوجيا وربطهما ببعضهما البعض؛

ب. وصف عدة طرق لدراسة التشريح البشري؛ و

ج. تعريف بعض التخصصات الفرعية للفسيولوجيا البشرية.

التشريح هو دراسة البنية، و الفسيولوجيا هي دراسة الوظيفة. هذان ا لمنهجان متكاملان ولا يمكن فصلهما تمامًا. معًا، يشكلان أساس الع لوم الصحية.

عندما ندرس هيكلًا، نريد أن نعرف، ماذا يفعل؟

علم وظائف الأعضاء يعطي معنى للتشريح، وبالمقابل، التشريح هو ما يجعل علم وظائف الأعضاء ممكنًا. هذا الوحدة بين الشكل والوظيفة هي نقطة مهمة يجب أن تضعها في اعتبارك أثناء دراسة الجسم. العد يد من الأمثلة عليها ستكون واضحة طوال الكتاب—بعضها سيتم الإ شارة إليه لك، والبعض الآخر ستلاحظه بنفسك.

1.1أ التشريح—دراسة الشكل

هناك عدة طرق لفحص هيكل الجسم البشري. أبسطها هو الفحص —مجرد النظر إلى مظهر الجسم، كما في إجراء فحص بدني أو إجراء تشخيص سريري من المظهر السطحي. تشمل الفحوصات البدنية أي ضًا اللمس والاستماع إلى الجسم. الجس1 يعني الشعور ببنية ما بال يدين، مثل جس عقدة لمفاوية متورمة أو أخذ النبض. الاستماع2 (A-WS-cul-TAY-shun) هو الاستماع إلى الأصوات الطبيعية التي يصدرها الجسم، مثل أصوات القلب والرئتين. في الطرق يقوم الفاحص بالنقر على الجسم، ويشعر بالمقاومة غير الطبيعية، ويستمع إ لى الصوت المنبعث بحثًا عن علامات الشذوذ مثل جيوب السوائل أو الهواء أو النسيج الندبي.

لكن الفهم الأعمق للجسم يعتمد على التشريح التفصيلي (dis-S-EC-shun)—القطع والفصل الدقيق للأنسجة لكشف ع لاقاتها. الكلمات نفسها *التشريح*[3] و *التشريح التفصيلي*[4] تعنيان "ال قطع إلى أجزاء"؛ حتى القرن التاسع عشر، كان يُطلق على التشريح ال تفصيلي "التشريح". في العديد من كليات العلوم الصحية، واحدة من ا لخطوات الأولى في تدريب الطلاب هي تشريح الجثة5 ، وهي جسم بشري ميت. يتم الحصول على العديد من الرؤى حول هيكل الإنسان من التشريح المقارن—دراسة عدة أنواع لفحص أوجه التشابه والاختلا ف وتحليل الاتجاهات التطورية. غالبًا ما يبدأ طلاب التشريح بتشريح حيوانات أخرى نشاركها سلفًا مشتركًا والعديد من التشابهات الهيكلية . العديد من أسباب هيكل الإنسان تصبح واضحة فقط عندما ننظر إلى هيكل الحيوانات الأخرى.

بالطبع، التشريح التفصيلي ليس الطريقة المفضلة عند دراسة شخص حي! كان من الشائع سابقًا تشخيص الاضطرابات من خلال ا لجراحة الاستكشافية—فتح الجسم والنظر داخله لمعرفة ما الخطأ وما يمكن فعله حيال ذلك. ومع ذلك، فإن أي اختراق لتجاويف الجسم يح مل مخاطر، وقد تم استبدال معظم الجراحات الاستكشافية الآن بتقن يات التصوير الطبي—طرق لرؤية داخل الجسم دون جراحة، والتي نو قشت في نهاية هذا الفصل (انظر نظرة أعمق 1.5). الفرع الطبي المع ني بالتصوير يسمى الأشعة. الهيكل الذي يمكن رؤيته بالعين المجرد ة—سواء بالملاحظة السطحية أو الأشعة أو التشريح التفصيلي—يسم ى التشريح الكلي.

في النهاية، تنجم وظائف الجسم عن خلاياه الفردية. لرؤيتها، عادةً ما نأخذ عينات من الأنسجة، ونقطعها إلى شرائح رقيقة ونصبغها، ون لاحظها تحت المجهر.

تسمى هذه الطريقة علم الأنسجة[6] (التشريح المجهري).

علم الأمراض النسيجي هو الفحص المجهري للأنسجة بحثًا عن علاما ت المرض. علم الخلايا[7] هو دراسة بنية ووظيفة الخلايا الفردية. البنى ة الفائقة تشير إلى التفاصيل الدقيقة، حتى المستوى الجزيئي، التي يكشفها المجهر الإلكتروني.

1.1ب علم وظائف الأعضاء—دراسة الوظيفة

علم وظائف الأعضاء[8] يستخدم طرق العلم التجريبي التي نوقشت لاح قًا. له العديد من الفروع الفرعية مثل *علم وظائف الأعصاب* (علم وظا ئف الجهاز العصبي)، *علم الغدد الصماء* (علم وظائف

---

[1] *لمس* = اللمس، الإحساس؛ *عملية* = العملية

[2] *الاستماع* = الاستماع؛ *عملية* = العملية

[3] *فصل* = بعيد؛ *قطع* = قطع

[4] *بعيد* = بعيد؛ *قطع* = قطع

[5] من *cadere* = السقوط أو الموت

[6] *نسيج* = نسيج؛ *دراسة* = دراسة

[7] *خلية* = خلية؛ *دراسة* = دراسة

[8] *طبيعة* = طبيعة؛ *دراسة* = دراسة

)حوالى 460–حوالى 375 قبل الميلاد(. هو وأتباعه وضعوا مدونة أخلا
قية للأطباء، وهى قسم أبقراط، الذى لا يزال يُتلى بشكل حديث من ق
بل الأطباء الخريجين فى بعض كليات الطب.
حث أبقراط الأطباء على التوقف عن نسب المرض إلى أنشطة الآلهة
والشياطين والبحث عن أسبابه الطبيعية، التى يمكن أن توفر الأساس
العقلانى الوحيد للعلاج.

كان أرسطو 384–322(قبل الميلاد(أحد الفلاسفة الأوائل الذين
كتبوا عن التشريح وعلم وظائف الأعضاء. كان يعتقد أن الأمراض والأح
داث الطبيعية الأخرى يمكن أن يكون لها أسباب خارقة للطبيعة، التى
أطلق عليها اللاهوتية، أو أسباب طبيعية، التى أطلق عليها الفيزيائية
أو الفسيولوجية. نستمد مصطلحات مثل طبيب و فسيولوجيا من ا
لأخيرة. حتى القرن التاسع عشر، كان يُطلق على الأطباء "أطباء الفيزياء
". فى كتابه التشريحى عن أجزاء الحيوانات، هدف أرسطو إلى تحديد ا
لمواضيع الموحدة فى الطبيعة. من بين نقاط أخرى، جادل بأن الهياكل
المعقدة مبنية من مجموعة أصغر من المكونات البسيطة—وهى وجه
ة نظر سنجدها مفيدة لاحقًا فى هذا الفصل.

طبق ما تعرفه

عندما تكمل هذا الفصل، ناقش أهمية فلسفة أرسطو بالنسبة ل
تفكيرنا الحالى حول بنية الإنسان.

كانت الطبيبات فى اليونان وروما القديمة محدودة إلى حد كبير
فى ممارستهن على أمراض النساء والتوليد. من بينهن، كانت الطبى
بة اليونانية متردورا)حوالى 200 قبل الميلاد(ربما أول امرأة تنشر ك
تابًا طبيًا، وهو المعالجة النسائية المكونة من مجلدين *عن أمراض وع*
لاجات النساء. تم ترجمته على نطاق واسع واستخدم فى اليونان وروما
القديمة، واستُخدم حتى عام 1597 ميلادى فى أوروبا.

كلوديوس جالين)129–حوالى 200(، طبيب مصارعى روما، كتب
أكثر الكتب الطبية تأثيرًا فى العصور القديمة — كتاب كان يُعبد بشك
ل مفرط من قبل أساتذة الطب لقرون تالية. كان تشريح الجثث محظ
ورًا فى زمن جالين بسبب بعض التجاوزات الرهيبة التى سبقت عصر
ه، بما فى ذلك التشريح العلنى للأشخاص المستعبدين والمحبوسين
الأحياء.
بصرف النظر عما كان يمكنه تعلمه من علاج جروح المصارعين، كان ح
الينوس محدودًا فى تشريح الخنازير والقرود وحيوانات أخرى. وبما أنه
لم يُسمح له بتشريح الجثث البشرية، كان عليه أن يخمن الكثير عن ت
شريح الإنسان وارتكب بعض الاستنتاجات الخاطئة من تشريح الحيوا
نات. على سبيل المثال، وصف الكبد البشرى بأنه يحتوى على خمسة
فصوص تشبه الأصابع لأن هذا ما رآه فى البابون. لكن جالينوس كان
يرى العلم كطريقة للاكتشاف، وليس كمجموعة حقائق يجب تصديقها
. حذر من أن كتبه الخاصة قد تكون خاطئة ونصح أتباعه بأن يثقوا فى
ملاحظاتهم الخاصة أكثر من أى كتاب. للأسف، لم يُلتزم بنصيحته. لمد
ة تقارب 1500 عام، قام أساتذة الطب بتدريس ما قرأوه فى كتب أر
سطو وجالينوس بشكل عقائدى، نادرًا ما تجرأوا على التشكيك فى س
لطة هؤلاء "السادة القدماء".

٢.١ب ولادة الطب الحديث

فى العصور الوسطى، كانت حالة العلم الطبى تختلف بشكل كبير من
ثقافة دينية إلى أخرى. كان العلم مكبوتًا بشدة فى الثقافة المسيحية
فى أوروبا حتى حوالى القرن السادس عشر، على الرغم من أن بعض أ
شهر المدارس الطبية

الهرمونات(، و *الفيزيولوجيا المرضية*)آليات المرض(. جزئيًا بسبب ال
قيود على التجارب على البشر، تم اكتساب الكثير مما نعرفه عن وظائ
ف الجسم من خلال
الفيزيولوجيا المقارنة، دراسة كيفية حل الأنواع المختلفة لمشاكل الحيا
ة مثل توازن الماء، والتنفس، والتكاثر. الفيزيولوجيا المقارنة هى أيضًا
أساس تطوير الأدوية والإجراءات الطبية الجديدة. على سبيل المثال،
قد يتعلم جراح القلب جراحة الحيوانات قبل ممارسة الجراحة على ال
بشر، ولا يمكن استخدام لقاح على البشر حتى يتم إثبات من خلال أبحا
ث الحيوانات أنه يوفر فوائد كبيرة دون مخاطر غير مقبولة.

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

1. ما الفرق بين التشريح وعلم وظائف الأعضاء؟
كيف يدعم هذان العلمان بعضهما البعض؟
2. اذكر الطريقة التى ستُستخدم لكل مما يلى: الاستماع إلى مريض ل
لكشف عن نفخة قلبية؛ دراسة التركيب المجهرى للكبد؛ فحص ن
سيج الكبد مجهريًا بحثًا عن علامات التهاب الكبد؛ تعلم الأوعى
ة الدموية لجثة؛ وإجراء فحص ذاتى للثدى.

1.2

أصول
العلوم الطبية الحيوية

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. قدم أمثلة على كيفية نشوء العلوم الطبية الحيوية الحديثة
من عصر الخرافات والاستبداد؛ و
ب. وصف مساهمات بعض الأشخاص الرئيسيين الذين ساعد
وا فى إحداث هذا التحول.

أى علم يصبح أكثر متعة إذا نظرنا ليس فقط إلى الحالة الحالية للمعر
فة، بل إلى كيفية مقارنتها بالفهم السابق للموضوع وكيف تم اكتساب
معرفتنا. من بين جميع العلوم، تمتلك الطب واحدة من أكثر التواريخ إ
ثارة للاهتمام.
لقد تقدم الطب أكثر بكثير فى الخمسين سنة الماضية مقارنة بالـ 25
00 سنة التى سبقتها، لكن هذا المجال لم يظهر بين عشية وضحاها. إ
نه مبنى على قرون من الفكر والجدل، والانتصار والهزيمة. لا يمكننا تق
دير حالته الحالية بشكل كامل دون فهم ماضيه—الأشخاص الذين كان
لديهم الفضول لتجربة أشياء جديدة، والرؤية للنظر إلى شكل ووظيفة ا
لإنسان بطرق جديدة، والشجاعة للتشكيك فى السلطة.

1.2أ الإرث اليونانى والرومانى

منذ حوالى 3000 سنة، كان الأطباء فى بلاد ما بين النهرين ومصر يعا
لجون المرضى بالأعشاب الطبية، والأملاح، والعلاج الطبيعى، والشفاء
بالإيمان. ومع ذلك، يُعتبر الطبيب اليونانى أبقراط عادةً "أب الطب".

10 كتب طبية مؤثرة والعديد من الرسائل حول أمراض محددة.

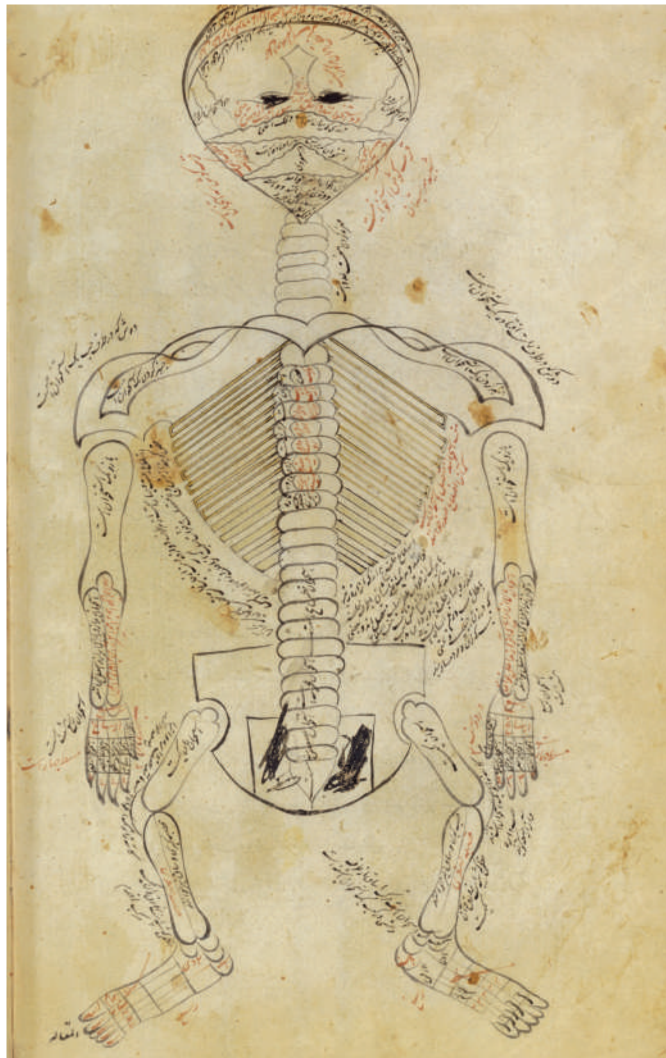
من بين المسلمين، ربما كان أكثر العلماء الطبيين احترامًا هو ابن سينا)980–1037(، المعروف في الغرب باسم ابن سينا أو "جالينو س الإسلام". درس جالين وأرسطو، ودمج اكتشافاتهم مع اكتشافات أ صلية، وتحدى السلطة عندما تطلبت الأدلة ذلك. أصبحت الطب في ا لشرق الأوسط قريبًا متفوقة على الطب الأوروبي. كتاب ابن سينا، *Th e* قانون الطب، كان سلطة رائدة في المدارس الطبية الأوروبية لأكثر من ٠٠٥ عام.

لم يكن للطب الصيني تأثير كبير على الفكر والممارسة الغربية ح تى وقت قريب نسبيًا؛ فقد تطورت الفنون الطبية في الصين بشكل م ستقل تمامًا عن الطب الأوروبي. تصف الفصول اللاحقة من هذا الك تاب بعض الأفكار من الصين والهند القديمة.

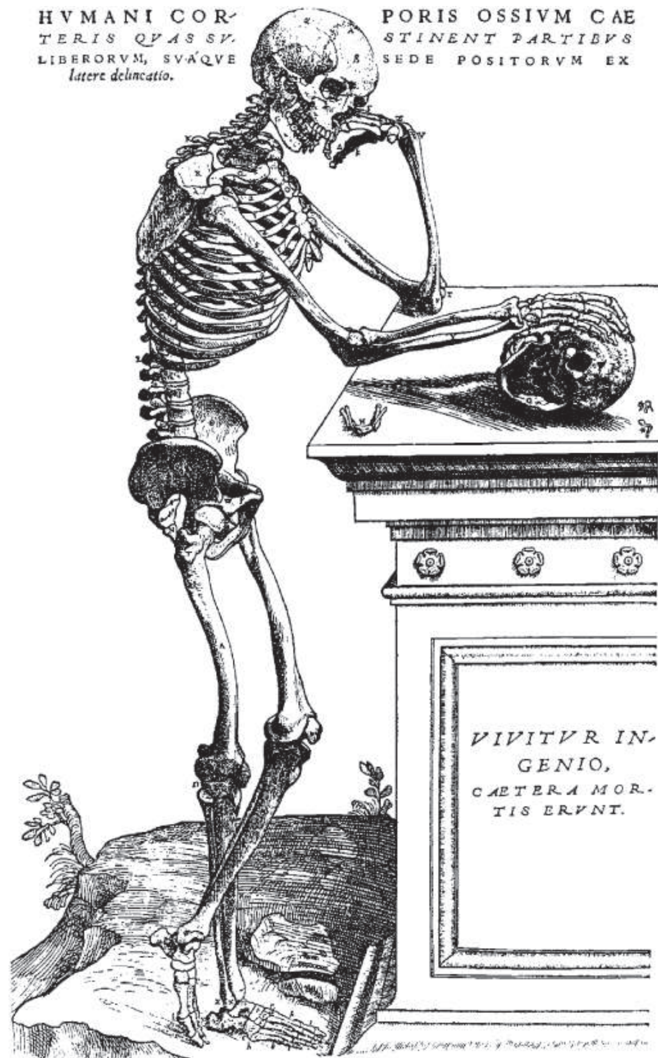
بدأ الطب الغربي الحديث حوالي القرن السادس عشر في عقول مبتكرة لأشخاص مثل عالم التشريح أندرياس

هذه الحقبة. ومع ذلك، كان أساتذتها يدرسون الطب بشكل أساسي كتعليق عقائدي على جالين وأرسطو، وليس كمجال للبحث الأصلي. كانت الرسوم الط بية في العصور الوسطى تمثيلات بدائية للجسم تهدف أكثر إلى تزيين الصفحا منها إلى تصوير الجسم بشكل واقعي)الشكل 1.1أ(.

بعضها كانت خرائط فلكية تُظهر أي برج من الأبراج يُعتقد أنه يؤثر على كل عضو من أعضاء الجسم. من مثل هذه العلوم الزائفة جاء مصطلح *influenza* الإيطالي الذي يعني "تأثير".كان البحث الحر أقل تقييدًا في الثقافة اليهودية والإسلامية خلال هذه الفترة. كان الأطباء الي هود هم أكثر الممارسين تقديرًا لفنهم—ولا أحد أشهر منهم من *موس ى بن ميمون*)٥٣١١–٤٠٢١(، المعروف في المسيحية باسم مايمونيدس. وُلد في إسبانيا، وفر إلى مصر في سن الرابعة والعشرين هربًا من الاضط هاد المعادي للسامية. هناك خدم بقية حياته كطبيب في بلاط السلطان صلاح الدين. كان موسى بن ميمون)مايمونيدس(حاخامًا يحظى بإعجا ب كبير، وكتب بكثرة عن القانون اليهودي واللاهوت، لكنه كتب أيضًا



)أ(



)ب(

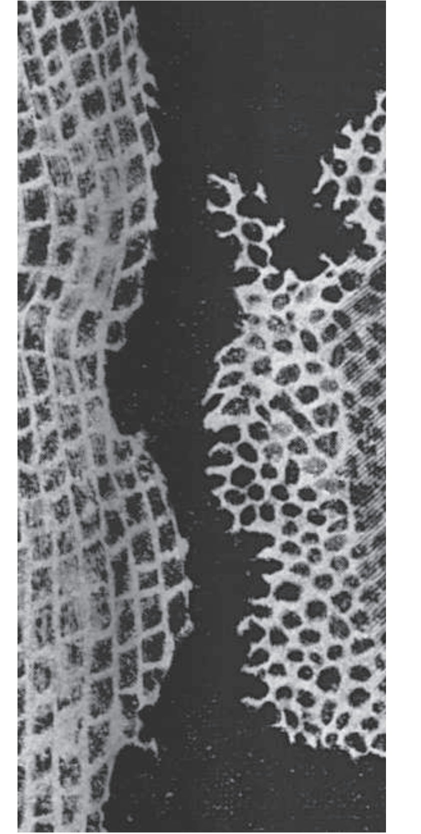
الشكل ١.١ تطور فن الطب. رسمتان توضيحيتان للجهاز الهيكلي تفصل بينهما حوالي ٠٠٥ عام.)أ(من عمل في القرن الحادي عشر يُنسب إلى الطبيب الفا رسي ابن سينا.)ب(من *De Humani Corporis Fabrica* لأندرياس فيزاليوس، ٣٤٥١.

كان من أوائل من لاحظوا خلايا الدم والشعيرات الدموية وكذلك تدفق الدم فى الشعيرات الدموية. نشر أوصافه فى عام 1661 ويُذكر كأب ع لم الأنسجة)التشريح المجهرى(.
الإنجليزى روبرت هوك)1635–1703(، الذى صمم أدوات علمية متن وعة، وحسّن البصريات، واخترع عدة ميزات مفيدة موجودة فى المجاه ر اليوم—مثل منصة لحمل العينة، ومصدر إضاءة، وأدوات ضبط التر كيز الخشن والدقيق. كانت مجاهرُه تكبّر حوالى 30 مرة فقط، ولكنه كا ن أول من رأى وسماها خلايا. فى عام 1663، لاحظ شرائح رقيقة من ا لفلين ورأى أنها "تتكون من العديد من الصناديق الصغيرة"، والتى أط لق عليها cellulae)الخلايا الصغيرة(نسبة إلى حجرات ال دير)الشكل 1.2(. لاحقًا لاحظ خلايا حية "مليئة بالعصائر". أصبح هو ك مهتمًا بشكل خاص بالفحص المجهرى لمواد مثل الحشرات وأنس جة النباتات وأجزاء الحيوانات. نشر أول كتاب شامل عن الميكروسكو ب، *Micrographia,* فى عام 1665.

أنتونى فان ليفينهوك)an-TOE-nee vahn LAY-wen-hook( )1632–1723(، تاجر أقمشة هولندى، اخترع مجهرًا بسيطًا)عدسة واح دة(، فى الأصل لغرض فحص نسج الأقمشة. كان مجهره عدسة شبيه ة بالخرزة



)أ(



)ب(

الشكل 1.2 الميكروسكوب المركب لهوك.)أ(كان الميكروسكوب المركب يحتوى على عدسة فى كل نهاية من جسم أنبوبى.
)ب(رسم هوك لخلايا الفلين، يُظهر جدران الخلايا السميكة التى تميز النباتات.

صور a: المتحف الوطنى للصحة والطب، سيلفر سبرينغ، ماريلاند؛ b: بيتمن/غيتى

فيزاليوس وعالم الفسيولوجيا ويليام هارفى. أندرياس فيزاليوس)١٥١٤–١٥٦٤(درّس التشريح فى إيطاليا. فى زمنه، خففت الكنيسة الكاثول يكية حظرها على تشريح الجثث، جزئيًا للسماح بالتشريح فى حالات ا لوفاة المشبوهة. علاوة على ذلك، خلقت النهضة الإيطالية بيئة أكثر ود ية للبحث المبتكر. تدريجيًا، دخل التشريح فى تدريب طلاب الطب ف ى جميع أنحاء أوروبا. كان ذلك عملاً غير سار، ومع ذلك اعتبره معظم ا لأساتذة دون كرامتهم. فى تلك الأيام قبل وجود التبريد أو التحنيط، كا ن رائحة الجثة المتحللة لا تطاق. كان التشريح سباقًا مع التحلل. كان طلاب الطب المتعبون يقاومون رغبة التقيؤ، خشية أن يثيروا غضب أ ستاذ متسلط. عادةً ما كان الأساتذة يجلسون على كرسى مرتفع، *الكا ثيدرا*، يقرؤون ببرود باللاتينية من جالينوس أو أرسطو بينما كان *الحلا ق-الجراح* الأدنى رتبة يزيل الأعضاء المتحللة من الجثة ويرفعها ليرى ا لطلاب.كان يُعتبر الحلاقة والجراحة *"فنونًا متقاربة للسكين"*؛ وأعمدة ا لحلاقين الحالية تعود إلى هذه الحقبة، حيث ترمز الخطوط الحمراء وا لبيضاء إلى الدم والضمادات.

كسر فيساليوس التقاليد بالنزول من المنبر وإجراء التشريحات بنفسه. كان سريعًا فى الإشارة إلى أن الكثير من التشريح فى كتب جا لين كان خاطئًا، وكان أول من نشر رسومات دقيقة لتعليم التشريح

)الشكل 1.1ب(. عندما بدأ الآخرون بسرقتها، نشر فيزاليوس أول أطل س للتشريح، De Humani Corporis Fabrica)عن بنية الجسم ال بشرى(، فى عام 1543. بدأ هذا الكتاب تقليدًا غنيًا فى الرسم الطبى ا لذى تم تناقله إلينا من خلال معالم مثل تشريح غراى)1856(والأطال س والكتب المدرسية المصورة بشكل حى فى الوقت الحاضر.

سبق التشريح علم وظائف الأعضاء وكان أساسًا ضروريًا له. ما كا ن فيزاليوس للتشريح، كان الإنجليزى ويليام
هارفى)1578–1657(كان له دور كبير فى علم وظائف الأعضاء. يُذكر هارفى بشكل خاص لدراساته حول دوران الدم وكتابه الصغير الذى ن شره فى عام 1628، المعروف بعنوانه المختصر *De Motu Cordis (حول حركة القلب)*. هو ومايكل سيرفيوس)1511–53(كانا أول العلما ء الغربيين الذين أدركوا أن الدم يجب أن يدور باستمرار فى الجسم، م ن القلب إلى الأعضاء الأخرى ثم يعود إلى القلب مرة أخرى. كان هذا يتعارض مع اعتقاد جالين بأن الكبد يحول الطعام إلى دم، وأن القلب يضخ الدم عبر الأوردة إلى جميع الأعضاء الأخرى، وأن تلك الأعضاء ت ستهلكه. الأطباء المتمسكون بأفكار جالين سخروا من هارفى بسبب نظريته، رغم أننا نعلم الآن أنه كان على حق. بالرغم من الاضطهاد والن كسات، عاش هارفى حتى سن متقدمة، وعمل كطبيب لملوك إنجلترا ، ولاحقًا قام بأعمال مهمة فى علم الأجنة. والأهم من ذلك، أن مساهم ات هارفى تمثل ولادة علم وظائف الأعضاء التجريبى—الطريقة التى أ نتجت معظم المعلومات فى هذا الكتاب.

الطب الحديث مدين أيضًا بفضل كبير لأولئك الذين وسعوا رؤية علماء الأحياء إلى المستوى الخلوى. فى عام 1609، قام جاليليو)1564–1642(بتسجيل براءة اختراع المجهر المركب كنتيجة ثانوية لعمله م ع التلسكوبات. كان هذا فى الأساس تلسكوبًا لرؤية الأجسام الصغيرة جدًا—أنبوب به عدسة فى كل نهاية: *عدسة موضوعية* بالقرب من الع ينة و *عدسة عينية*
)العدسة العينية(بالقرب من عين المشاهد، والتى تكبر الصورة الأولى أكثر من ذلك. لم يفكر جاليليو أبداً، مع ذلك، فى استخدامها على الموا د البيولوجية. كان أول من درس الخلايا باستخدام المجهر المركب هو الطبيب-عالم الأحياء الإيطالى مارسيلو مالبيغى)1628–94(، الذى

نظرية الجراثيم للأمراض، وآليات الوراثة، وتركيب الحمض النووي)DNA(. في القرن العشرين، أتاح علم الأحياء الأساسي والكيمياء الحيوية فهماً أعمق بكثير لكيفية عمل الجسم. أدت التطورات في التصوير الطبي إلى تعزيز قدرتنا على التشخيص واستراتيجيات دعم الحياة. شهدنا تطورات هائلة في العلاج الكيميائي، والتطعيم، والتخدير، والجراحة، وزرع الأعضاء، وعلم الوراثة البشري. وبحلول نهاية القرن العشرين، اكتشفنا "تسلسل القواعد" الكيميائي لكل جين بشري وبدأنا بمحاولات العلاج الجيني لعلاج الأطفال المولودين بأمراض كانت تُعتبر حديثاً غير قابلة للشفاء. وعندما ينظر المؤرخون المستقبليون إلى عصرنا الحالي، قد يفرحون بالثورة الجينية التي تعيشونها الآن.

تُغطي عدة اكتشافات من القرنين التاسع عشر والعشرين، والرجال والنساء الذين كانوا وراءها، في رسومات تاريخية قصيرة في الفصول اللاحقة. ومع ذلك، فإن القصص التي تُروى في هذا الفصل مختلفة بطريقة مهمة. الأشخاص الذين نوقشوا هنا كانوا روادًا في تأسيس الطريقة العلمية في التفكير. لقد ساعدوا في استبدال الخرافة بتقدير القانون الطبيعي.
لقد جسروا الهوة بين الغموض والدواء. بدون هذه الثورة الفكرية، لم يكن بإمكان الذين تبعوهم تصور الأسئلة الصحيحة التي يجب طرحها، ناهيك عن طريقة للإجابة عليها.

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

3. بأي طريقة تجاهل أتباع جالينوس نصيحته؟ كيف تنطبق نصيحة جالينوس عليك وعلى هذا الكتاب؟
4. صف طريقتين حسّن فيهما فيزاليوس التعليم الطبي ووضع معايير لا تزال ذات صلة حتى اليوم.
5. كيف يؤثر مفهومنا الحالي للشكل والوظيفة البشرية على المخترعين من القرن السابع عشر إلى القرن التاسع عشر؟

المنهج العلمي 1.3

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف الطرق الاستقرائية والافتراضية-الاستنباطية للحصول على المعرفة العلمية؛
ب. وصف بعض جوانب تصميم التجارب التي تساعد على ضمان نتائج موضوعية وموثوقة؛ و
ج. شرح ما المقصود بالفرضية، والحقيقة، والقانون، والنظرية في العلم.

الصحة هي مجال مليء على الأرجح بالمغالطات والاحتيالات الزائفة أكثر من أي مجال آخر. يُطلب منا باستمرار الحكم على أي الادعاءات جديرة بالثقة وأيها زائفة؛ أيها قد يساعد، وأيها قد يقتل، وأيها قد لا يفيد سوى المحتالين القادرين على خداع الأشخاص اليائسين والسذج لأخذ أموالهم. لاتخاذ أحكام سليمة حول

مثبت في لوحة معدنية مزودة بمشبك عينة متحرك.
على الرغم من أن مجاهر هُوك كانت أبسط من مجاهر هوك، إلا أنها حققت تكبيرًا مفيدًا أكبر بكثير)حتى 200×(بفضل تقنية ليونهوك المتفوقة في صنع العدسات. بدافع الفضول، فحص قطرة من ماء البحيرة وكان مندهشًا ليجد مجموعة متنوعة من الكائنات الدقيقة—"حيوانات صغيرة"، كما سماها، "تسبح بشكل جميل جدًا". واصل مراقبة كل ما استطاع الحصول عليه، بما في ذلك خلايا الدم، الشعيرات الدموية، الحيوانات المنوية، الأنسجة العضلية، والبكتيريا من كشط الأسنان.
بدأ ليونهوك في تقديم ملاحظاته إلى الجمعية الملكية بلندن في عام 1673. في البداية، حظيت ملاحظاته بالثناء، وكان العلماء يتابعونها بشغف، لكن الحماس تجاه المجهر لم يستمر. بحلول نهاية القرن السابع عشر، أصبح يُنظر إليه على أنه مجرد لعبة للطبقات العليا، مسلية وبلا معنى مثل الكاليودوسكوب. حتى أن ليونهوك وهوك أصبحا موضوعًا للسخرية. لكن ربما لم ينظر أحد في التاريخ إلى الطبيعة بهذه الطريقة الثورية. من خلال أخذ علم الأحياء إلى المستوى الخلوي، وضع الرجلان أساسًا جديدًا تمامًا للطب الحديث الذي تبعه بعد قرون.

أنتجت مجاهر هوك وليونهوك صورًا ضعيفة بحواف ضبابية *)انحراف كروي(* وتشوهات قوس قزحية *)انحراف لوني(*. كان لا بد من حل هذه المشاكل قبل أن يُستخدم المجهر على نطاق واسع كأداة بيولوجية. في القرن التاسع عشر، حسّن المخترعون الألمان المجهر المركب بشكل كبير، مضيفين المكثف وطوروا بصريات متفوقة. مع المجاهر المحسنة، بدأ علماء الأحياء بفحص مجموعة أوسع من العينات بحماس. بحلول عام 1839، استنتج عالم النبات ماتياس شلايدن)1804–1881(وعالم الحيوان ثيودور شوان)1810–1882(أن جميع الكائنات تتكون من خلايا. على الرغم من أن قبول هذه الفكرة استغرق قرنًا آخر، إلا أنها أصبحت المبدأ الأول لنظرية الخلية التي أضاف إليها علماء الأحياء لاحقًا والتي تم تلخيصها في الفصل 3.

كانت نظرية الخلية ربما أهم اختراق في تاريخ الطب الحيوي؛ فجميع وظائف الجسم تُفسر الآن كنتائج لنشاط الخلايا.

على الرغم من أن الأساس الفلسفي للطب الحديث قد تم تأسيسه إلى حد كبير بحلول زمن ليونهوك وهوك وهارفي، إلا أن الممارسة السريرية كانت لا تزال في حالة يرثى لها. كان عدد قليل من الأطباء يحضرون كلية الطب أو يتلقون أي تعليم رسمي في العلوم الأساسية أو تشريح الإنسان. كان الأطباء يميلون إلى الجهل وعدم الفعالية والغرور. كانت ممارساتهم تعتمد بشكل كبير على طرد السموم الوهمية من الجسم عن طريق نزف المرضى أو تحفيز القيء، التعرق، أو الإسهال. كانوا يجرون العمليات بأيدي وأدوات قذرة، ناشرين العدوى القاتلة من مريض إلى آخر، ورافضين، بغرورهم، الاعتقاد بأنهم هم أنفسهم ناقلو المرض. ماتت العديد من النساء بسبب العدوى التي أصبن بها أثناء الولادة من أطباء التوليد. غالبًا ما تصبح الأطراف المكسورة مُصابة بالغرغرينا واضطروا إلى بترها، ولم يكن هناك تخدير لتخفيف الألم.

لا يزال المرض يُنسب على نطاق واسع إلى الشياطين والسحرة، وكان كثير من الناس يشعرون أنهم سيتدخلون في إرادة الله إذا حاولوا علاجه.

1.2ح العيش في ثورة

تأخذنا هذه التاريخية القصيرة فقط إلى عتبة العلم الطبي الحيوي الحديث؛ وتتوقف قبل الاكتشافات الهامة مثل

إذا تم التوصل إليه بواسطة طرق موثوقة للملاحظة، وتم اختباره وتأكيده مرارًا وتكرارًا، ولم يُفند بأى ملاحظة موثوقة. فى العلم، كل الحقيقة مؤقتة؛ لا مكان للعقيدة.
يجب أن نكون دائمًا مستعدين للتخلى عن حقيقة الأمس إذا دحضتها حقائق الغد.

1.3ب الطريقة الافتراضية الاستنتاجية

تم الحصول على معظم المعرفة الفسيولوجية بواسطة طريقة الاستنباط الفرضى. يبدأ الباحث بطرح سؤال وصياغة فرضية — تكهن متعلم أو إجابة محتملة للسؤال. يجب أن تكون الفرضية الجيدة (1) متسقة مع ما هو معروف بالفعل و(2) قابلة للاختبار وربما التفنيد بالأدلة. القابلية للتفنيد تعنى أنه إذا ادعينا أن شيئًا ما صحيح علميًا، يجب أن نكون قادرين على تحديد الأدلة التى قد تثبت خطأه. إذا لم يكن هناك شىء يمكن أن يثبت خطأه، فهو ليس علميًا.



الشكل 1.3 البحث الطبى الحيوى. يستخدم العلماء الباحثون عادات التفكير التى نسميها المنهج العلمى لضمان موضوعية وموثوقية وقابلية تكرار نتائجهم واستنتاجاتهم.
AshTproductions/Shutterstock

طبق ما تعرفه

كان القدماء يعتقدون أن الآلهة أو الشياطين غير المرئية تسبب الصرع. اليوم، تُعزى نوبات الصرع إلى انفجارات من النشاط الكهربائى غير الطبيعى فى خلايا الأعصاب فى الدماغ. اشرح لماذا أحد هذه الادعاءات قابل للتفنيد (وبالتالى علمى)، بينما الآخر غير ذلك.

الغرض من الفرضية هو اقتراح طريقة للإجابة على سؤال. من الفرضية، يقوم الباحث بعمل استنتاج، عادة فى شكل توقع "إذا–فإن":

إذا كانت فرضيتى حول الصرع صحيحة وسجلت موجات الدماغ للمرضى أثناء النوبات، *إذن* يجب أن ألاحظ انفجارات غير طبيعية من النشاط. التجربة التى تُجرى بشكل صحيح تُنتج ملاحظات إما تدعم الفرضية أو تتطلب من العالم تعديلها أو التخلى عنها، وصياغة فرضية أفضل، واختبارها. يعمل اختبار الفرضيات فى دورات من الافتراض والتفنيد حتى يتم العثور على فرضية مدعومة بالأدلة.

1.3ح تصميم التجربة

إجراء تجربة بشكل صحيح يتطلب عدة اعتبارات مهمة. ماذا سأقيس وكيف يمكننى قياسه؟ ما التأثيرات التى يجب أن أراقبها وأيها يجب أن أتجاهلها؟ كيف يمكننى التأكد من أن نتائجى ناتجة عن المتغيرات التى أتحكم بها وليس بسبب شىء آخر؟ عند العمل على البشر، كيف يمكننى منع توقعات المشارك أو حالته الذهنية من التأثير على النتائج؟ كيف يمكننى القضاء على تحيزاتى الخاصة والتأكد من أن حتى أكثر النقاد تشككًا سيكون لديهم نفس الثقة فى استنتاجاتى كما لدى؟ تعالج عدة عناصر من تصميم التجربة هذه القضايا:

حجم العينة. عدد الأفراد (حيوانات أو أشخاص) المستخدمين فى الدراسة هو حجم العينة. حجم عينة كافٍ يسيطر على الأحداث العشوائية والتفاوتات الفردية فى الاستجابة، وبالتالى يمكننا من وضع ثقة أكبر فى النتائج. على سبيل المثال، هل تفضل أن تثق بصحتك بدواء تم اختباره على 5 أشخاص أم دواء تم اختباره على 5000؟ ولماذا؟

ذلك يعتمد على تقدير كيفية تفكير العلماء، وكيف يضعون معايير الحقيقة، ولماذا تكون ادعاءاتهم أكثر موثوقية من غيرها.

عندما نصف طريقة بحث أو طريقة تفكير بأنها علمية، نعنى أنها تستند إلى افتراضات وطرق تنتج معلومات موثوقة وموضوعية وقابلة للاختبار عن الطبيعة (الشكل 1.3). الافتراضات العلمية هى أفكار ثبتت فائدتها فى الماضى — على سبيل المثال، فكرة أن الظواهر الطبيعية لها أسباب طبيعية، وأن الطبيعة قابلة للتنبؤ والفهم، وأن الإنسان هو نتاج الطبيعة وخاضع لقوانينها. المنهج العلمى متغير للغاية. لا يشير إلى إجراءات رصد نمطية، بل إلى عادات معينة من الإبداع المنضبط، والملاحظة الدقيقة، والتفكير المنطقى، والتحليل الصادق لملاحظات المرء واستنتاجاته. العلم ينمى عادات التساؤل التى تهدف إلى الوصول إلى تمثيلات صادقة للطبيعة — استنتاجات موضوعية ستصمد أمام محاولات العثور على أخطاء فيها. استنتاجاته ليست معصومة من الخطأ، لكنها دائمًا مفتوحة للتصحيح والتنقيح عندما تتطلب الأدلة الجديدة ذلك.

المقدمة المختصرة التالية تهدف إلى إعطائك بعض الفهم لعادات التفكير التى تمنح المصداقية للادعاءات العلمية والتى تقوم عليها المعلومات العلمية المقدمة فى هذا الكتاب.

1.3أ الطريقة الاستقرائية

الطريقة الاستقرائية هى عملية إجراء العديد من الملاحظات حتى يشعر المرء بالثقة فى استخلاص تعميمات وتنبؤات منها. ما نعرفه عن التشريح هو نتاج الطريقة الاستقرائية. نصف التركيب الطبيعى لجسم الإنسان بناءً على ملاحظات العديد من الأجسام.

يثير هذا مسألة ما يُعتبر دليلاً فى العلم.
لا يمكننا أبدًا إثبات صحة ادعاء ما بما يتجاوز كل احتمال للرد. ومع ذلك، يمكننا اعتبار بيان ما مثبتًا *بما يتجاوز الشك المعقول*

أظهرت مجموعة العلاج انخفاضًا بنسبة 12٪ في مستوى الكوليسترول وأظهرت مجموعة الدواء الوهمي انخفاضًا بنسبة 10٪. هل سيكون هذا كافيًا للاستنتاج بأن العلاج كان فعالًا؟
العلماء متمرسون جيدًا في الاختبارات الإحصائية التي يم كن تطبيقها على البيانات—مثل اختبار كاي-تربيع، واختبار *t*، وتحليل التباين، على سبيل المثال. يمكن التعبير عن نتيجة نموذجية لاختبار إحصائي بعبارة: "يمكننا أن نكون متأكدين بنسبة 99.5% أن الفرق بين المجموعة أ والمجموعة ب كان بسبب العلاج التجريبي وليس بسبب التغير العشوائي." العلم لا يقوم على بيانات الحقيقة المطلقة، بل على بيانات الاحتمالية .

1.3د مراجعة الأقران

عندما يتقدم عالم بطلب تمويل لدعم مشروع بحثي أو يقدم نتائج للن شر، يتم تقديم الطلب أو المخطوطة إلى مراجعة الأقران — وهي تقي يم نقدي من قبل خبراء آخرين في نفس المجال. حتى بعد نشر التقرير ، إذا كانت النتائج مهمة أو غير تقليدية، قد يحاول علماء آخرون إعادة إ نتاجها للتحقق من صحة المؤلف. في كل مرحلة من التخطيط إلى ما بعد النشر، يخضع العلماء للتدقيق الشديد من قبل زملائهم. مراجعة ا لأقران هي آلية لضمان الأمانة والموضوعية والجودة في العلم.

1.3هـ الحقائق والقوانين والنظريات

أهم منتج للبحث العلمي هو فهم كيفية عمل الطبيعة—سواء كانت ط بيعة بركة بالنسبة لعالم البيئة أو طبيعة خلية الكبد بالنسبة لعالم الف سيولوجيا. نعبر عن فهمنا على شكل *حقائق*، *قوانين*، و *نظريات* للط بيعة. من المهم أن نقدر الفروق بين هذه.

ال حقيقة علمية هي معلومة يمكن التحقق منها بشكل مستقل من قبل أي شخص مدرب—على سبيل المثال، حقيقة أن نقص الحد يد يؤدي إلى فقر الدم. ال قانون الطبيعة هو تعميم حول الطرق المتو قعة التي تتصرف بها المادة والطاقة. وهو نتيجة استدلال استقرائي بناءً على ملاحظات متكررة ومؤكدة. بعض القوانين تُعبر عنها بعبارات لفظية مختصرة، مثل *قانون الاقتران القاعدي التكميلي:* في اللولب ا لمزدوج للـDNA، القاعدة الكيميائية المسماة الأدينين ترتبط دائمًا بقا عدة تسمى الثايمين، والقاعدة المسماة الجوانين ترتبط دائمًا بالسايتو سين. بعض القوانين الأخرى تُعبر عنها بصيغ رياضية، مثل *قانون بو يل* المستخدم في فسيولوجيا التنفس: تحت ظروف محددة، حجم الغ از (V) يتناسب عكسيًا مع ضغطه (P)—أي

$$V \propto 1/P.$$

النظرية هي بيان تفسيري أو مجموعة بيانات مشتقة من الحقائق والقوانين والافتراضات المؤكدة. بعض النظريات لها أسماء، مثل نظ رية الخلية، نظرية الفسيفساء السائلة لأغشية الخلايا، و نظرية الخيوط المنزلقة لانقباض العضلات.
معظمها، مع ذلك، يبقى بدون أسماء. الغرض من النظرية ليس فقط تلخيص ما نعرفه بشكل موجز، بل أيضًا اقتراح اتجاهات للدراسة الم ستقبلية والمساعدة في التنبؤ بما يجب أن تكون عليه النتائج إذا كان ت النظرية صحيحة.

- المجموعات الضابطة. تتطلب التجارب الطبية الحيوية مقا رنة بين الأفراد المعالجين وغير المعالجين حتى نتمكن من تقييم ما إذا كان للعلاج أي تأثير. تتكون مجموعة الضبط من أفراد يشبهون مجموعة العلاج قدر الإمكان باستثنا ء المتغير الذي يتم اختباره. على سبيل المثال، هناك أدلة ع لى أن الثوم يخفض مستويات الكوليسترول في الدم. ف ي إحدى الدراسات، تم إعطاء متطوعين يعانون من ارتفاع ا لكوليسترول 800 ملغ من مسحوق الثوم يوميًا لمدة 4 أشهر وأظهروا انخفاضًا متوسطًا بنسبة 12% في الكوليسترول. هل كان هذا انخفاضًا مهمًا، وهل كان بسبب الثوم؟ من المس تحيل القول بدون مقارنة مع مجموعة ضابطة من أشخاص م ماثلين لم يتلقوا أي علاج. في هذه الدراسة، أظهرت المجموعة ا لضابطة انخفاضًا متوسطًا بنسبة 3% فقط في الكوليسترول، لذا يبدو أن الثوم قد أحدث فرقًا.

- التأثيرات النفسجسدية. يمكن أن تؤثر التأثيرات النفسجسدية) تأثير حالة العقل لدى الفرد على فسيولوجيته(بشكل سلبي عل ى نتائج التجارب إذا لم نتحكم فيها. لذلك، في أبحاث الأدوية، من المألوف إعطاء المجموعة الضابطة دواءً وهميًا)بلاسيبو( )pla-SEE-bo(—وهو مادة لا تؤثر بشكل ملحوظ على ا لجسم فسيولوجيًا. على سبيل المثال، إذا كنا نختبر دواءً، يمكننا إعطاء مجموعة العلاج الدواء، والمجموعة الضابطة أقراص سكر متطابقة في الشكل. يجب ألا يعرف أي من المجموعتين أي الأقراص يتلقون. إذا أظهرت المجموعتان تأثيرات مختلفة بشكل ملحوظ، يمكننا أن نكون واثقين من أن ذلك لم يكن نتيجة معرفة ما يتناولونه.

- تحيز الباحث. في عالم البحث الطبي التنافسي وعالي المخاطر، قد يرغب الباحثون في الحصول على نتائج معينة لدرجة أ ن تحيزاتهم، حتى وإن كانت لاواعية، قد تؤثر على تفسيرهم لل بيانات. إحدى الطرق للتحكم في ذلك هي طريقة التعمية المزدو جة. في هذه الطريقة، لا يعرف لا المشارك الذي يتلقى العلاج ولا الشخص الذي يعطيه ويسجل النتائج ما إذا كان المشارك ي تلقى العلاج التجريبي أو الدواء الوهمي. قد يقوم الباحث بتح ضير أقراص متطابقة الشكل، بعضها يحتوي على الدواء وبعضه ا على الدواء الوهمي؛ ويضع عليها أرقام رمزية؛ ويوزعها على الأ طباء المشاركين. الأطباء أنفسهم لا يعرفون ما إذا كانوا يع طون دواءً أو دواءً وهميًا، لذا لا يمكنهم إعطاء المشاركين أي تلميحات حتى لو كانت غير مقصودة حول نوع المادة التي يتنا ولونها. عند جمع البيانات، يمكن للباحث ربطها بمحتوى الأ قراص وتحديد ما إذا كان للدواء تأثير أكبر من الدواء الوهم ي.

- الاختبارات الإحصائية. إذا قمت برمي عملة معدنية 100 م رة، كنت تتوقع أن تظهر حوالي 50 وجهًا و50 كتابة. إذا كانت ا لنتيجة 48:52، فمن المحتمل أن تعزو ذلك إلى خطأ عشوائي بدلاً من تحيز في العملة. ولكن ماذا لو كانت النتيجة 40:60؟ في أي نقطة تبدأ في الشك بوجود تحيز؟ هذا النوع من المشا كل يواجه بشكل روتيني في البحث—ما مدى الفرق الذي يج ب أن يكون بين مجموعات الضبط والعلاج حتى نشعر بثقة أ ن ذلك كان بسبب العلاج وليس مجرد تباين عشوائي؟ ماذا لو

الأنواع عن طريق الانتقاء الطبيعي)1859(، وقد وُصف بأنه "الكتاب ا لذى هز العالم." من خلال تقديم أول نظرية مدعومة جيدًا لكيفية عمل التطور، لم يتسبب فقط فى إعادة هيكلة علم الأحياء بأكمله بل غيّر أي صًا بشكل عميق النظرة السائدة لأصلنا وطبيعتنا ومكاننا فى الكون.

فى *هبوط الإنسان*)1871(، تناول داروين مباشرةً مسألة تطور الإنسان وأكد على خصائص التشريح والسلوك التى تكشف عن علاقتنا بالحيوانات الأخرى. هنا سنتطرق بإيجاز فقط إلى كيفية مساعدة الانتقاء الطبيعي فى تفسير بعض الخصائص المميزة التى نراها اليوم فى نوعنا، *الإنسان العاقل.*

1.4أ التطور، الانتقاء، والتكيف

التطور يعنى ببساطة التغير فى التركيب الجينى لمجموعة من الكائنا ت الحية. تشمل الأمثلة تطور مقاومة البكتيريا للمضادات الحيوية، ظ هور سلالات جديدة من فيروس الإنفلونزا، وظهور أنواع جديدة من الكا ئنات الحية.

يعمل التطور إلى حد كبير من خلال مبدأ الانتقاء الطبيعي، الذى ينص أساسًا على ما يلى: بعض الأفراد داخل نوع معين لديهم مزايا ورا ثية على منافسيهم—على سبيل المثال، تمويه أفضل، مقاومة للأمرا ض، أو القدرة على جذب الشركاء—مما يمكنهم من إنتاج نسل أكثر. و هم ينقلون هذه المزايا إلى نسلهم، وبالتالى تصبح هذه الخصائص أك ثر شيوعًا فى الأجيال المتعاقبة. وهذا يؤدى إلى التغير الجينى فى مج موعة الكائنات الذى يشكل التطور.

القوى الطبيعية التى تعزز النجاح التناسلي لبعض الأفراد أكثر من غيرهم تُسمى ضغوط الانتقاء. وتشمل أشياء مثل المناخ، المفترسا ت، الأمراض، المنافسة، والغذاء. التكيفات هى ميزات فى التشريح، الفسيولوجيا، والسلوك التى تتطور استجابةً لهذه الضغوط الانتقائية وتمكن الكائن الحى من التكيف مع تحديات بيئته.

كان من الصعب على داروين أن يتوقع الكم الهائل من الأدلة الح ينية، الجزيئية، الأحفورية، وغيرها من الأدلة على تطور الإنسان التى تراكمت فى القرن العشرين وأثبتت نظريته بشكل أكبر. تكشف الطرق الحديثة فى علم الوراثة الجزيئى، على سبيل المثال، عن اختلاف أقل بين الحمض النووى للقردة الشمبانزى والبشر مقارنةً بالاختلاف بين ا لشمبانزى والغوريلا. أى أن أقرب الأقارب الأحياء للشمبانزى ليس الغو ريلا—بل نحن، *الإنسان العاقل.*

عدة جوانب من تشريحنا لا معنى لها بدون الوعى بأن جسم الإن سان له تاريخ)انظر الرؤية الأعمق 1.1(. علاقتنا التطورية مع الأنواع الأ خرى مهمة أيضًا فى اختيار الحيوانات للأبحاث الطبية الحيوية. إذا لم تكن هناك مسائل تتعلق بالتكلفة، التوفر، أو الأخلاقيات، قد نختبر الأ دوية على أقاربنا الأحياء المقربين، الشمبانزى، قبل الموافقة عليها للا ستخدام البشرى. جيناتهم، تشريحهم، وفسيولوجيتهم تشبه إلى حد ك بير تلك الخاصة بنا، وبالتالى فإن ردود أفعالهم تجاه الأدوية توفر أفض ل توقع لكيفية استجابة جسم الإنسان. من ناحية أخرى، إذا لم يكن لد ينا أى قرابة مع أى نوع آخر، فإن اختيار نوع الاختبار سيكون عشوائيًا؛ قد نستخدم الضفادع أو الحلزونات. فى الواقع، نحن نصل إلى حل و سط. تُستخدم الفئران والجرذان على نطاق واسع فى الأبحاث لأنها ثد ييات تشترك معنا فى فسيولوجيا مشابهة، لكنها تقدم مشاكل أقل م ن الأنواع المذكورة أعلاه مقارنةً بالشمبانزى أو الثدييات الأخرى.

القانون والنظرية لهما معنى مختلف فى العلم عما هو عليه لدى معطم الناس. فى الاستخدام الشائع، القانون هو قاعدة تُنشأ وتُفرض من قبل الناس؛ يجب علينا الالتزام بها أو المخاطرة بعقوبة.
أما قانون الطبيعة، فهو وصف؛ القوانين لا تحكم الكون—بل تصفه. ى ميل العامة إلى استخدام كلمة نظرية لما يسميه العالم فرضيةً—على سبيل المثال، "لدى نظرية لماذا سيارتى لا تعمل." الاختلاف فى المع نى يسبب ارتباكًا كبيرًا عندما يجعل الناس يعتقدون أن النظرية العلم ية)مثل نظرية التطور(مجرد تخمين أو افتراض، بدلاً من الاعتراف بها كملخص للاستنتاجات المستمدة من مجموعة كبيرة من الحقائق الم لاحظة. مفاهيم الجاذبية والإلكترونات هى نظريات أيضًا، لكن هذا لا يعنى أنها مجرد تكهنات.

▶▶▶ طبق ما تعرفه

هل كانت نظرية الخلية التى اقترحها شلايدن وشوان نتاجًا أكثر لل طريقة الافتراضية الاستنتاجية أم للطريقة الاستقرائية؟ فسّر إجا بتك.

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

6. صف العملية العامة المتبعة فى الطريقة الاستقرائية.

7. صف بعض مصادر التحيز المحتملة فى البحث الطبى الحيوى. ما هى بعض الطرق لتقليل هذا التحيز؟

8. هل هناك معلومات أكثر فى حقيقة علمية فردية أم فى نظرية؟ فسّر.

أصول الإنسان والتكيفات 1.4

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. اشرح لماذا التطور ذو صلة بفهم الشكل والوظيفة البشرية؛

ب. تعريف التطور و الانتقاء الطبيعي؛

ج. وصف بعض الخصائص البشرية التى يمكن نسبتها إلى عادات الق ردة العليا التى تعيش على الأشجار؛ و

د. وصف بعض الخصائص البشرية التى تطورت لاحقًا بالتزامن مع المشى المنتصب.

إذا كان لأى نظريتين أوسع الأثر فى فهم جسم الإنسان، فهما على الأر جح *نظرية الخلية* ونظرية *الانتقاء الطبيعي*. لا يكون فهم شكل ووظ فة الإنسان كاملاً دون فهم تاريخنا التطورى، وكيف قام الانتقاء الطبيع ى بتكييف الجسم مع موطنه الأسرى. كشرح لكيفية نشوء الأنواع وتغ يرها عبر الزمن، كانت نظرية الانتقاء الطبيعي من ابتكار تشارلز داروى ن)1809–82(—بلا شك أكثر علماء الأحياء تأثيرًا فى التاريخ. كتابه، *أ صل الأنواع*



نظرة أعمق 1.1

الطب التطورى

بقايا تطور الإنسان

أحد الأدلة الكلاسيكية على التطور، التى نوقشت حتى قبل ولادة داروين، هو الأعضاء التبقية. هذه الهياكل هى بقايا أعضاء كانت على ما يبدو أكثر تطورًا ووظائفية فى أسلاف نوع ما. الآن لا تؤدى أى غرض أو، فى بعض الحالات، تم تحويلها إلى وظائف جديدة.

أجسامنا، على سبيل المثال، مغطاة بملايين من الشعر، كل منها \مزوّد بعضلة صغيرة عديمة الفائدة *arrector muscle.* فى الثدييات الأخرى، تعمل هذه العضلات على نفش الشعر والحفاظ على الحرارة. فى البشر، تنتج فقط قشعريرة الجلد. فوق كل أذن، لدينا ثلاث عضلات *auricularis muscles.* فى الثدييات الأخرى، تحرك هذه العضلات الأذنين لاستقبال الأصوات بشكل أفضل أو لطرد الذباب والآفات الأخرى، لكن معظم الناس لا يستطيعون تقلصها على الإطلاق. كما قال داروين، لا معنى لوجود مثل هذه الهياكل فى البشر لولا حقيقة أننا جئنا من أسلاف كانت هذه العضلات لديهم وظيفية.

المشاكل المذكورة أعلاه مقارنةً بالشمبانزى أو الثدييات الأخرى. نوع أو سلالة حيوانية يتم اختيارها للبحث فى مشكلة معينة تُسمى نموذج—على سبيل المثال، نموذج الفأر لسرطان الدم اللمفاوى الحاد.

1.4ب التكيفات الأساسية للرئيسيات

نحن ننتمى إلى رتبة الثدييات المسماة الرئيسيات، والتى تشمل أيضًا القرود والإنسانيات. يمكن تتبع بعض ميزاتنا التشريحية والفسيولوجية إلى أقدم الرئيسيات، التى انحدرت من ثدييات أفريقية بحجم السنجاب تتغذى على الحشرات، والتى بدأت تعيش فى الأشجار منذ 55 إلى 60 مليون سنة. من المحتمل أن هذا الموئل الشجرى[9](قمة الشجرة) وفر أمانًا أكبر من الحيوانات المفترسة، ومنافسة أقل، وإمدادًا غنيًا من الطعام مثل الأوراق والثمار والحشرات والسحالى. لكن غطاء الغابة هو عالم ملىء بالتحديات، مع ضوء الشمس الخافت والمتناثر، والفروع المتأرجحة، والطلال المتحركة، والفريسة التى تتحرك بسرعة بين الأوراق الكثيفة. أى ميزة جديدة تمكن الحيوانات الشجرية من التنقل بسهولة أكبر فى قمم الأشجار كانت ستُفضل بشدة من قبل الانتقاء الطبيعى. وهكذا، أصبح الكتف أكثر حركة ومكن الرئيسيات من الوصول فى أى اتجاه (حتى فوق الرأس، وهو ما لا تستطيع فعله معظم الثدييات الأخرى).

أصبحت الإبهامات قابلة للمعارضة بشكل كامل — حيث يمكنها عبور راحة اليد لملامسة أطراف الأصابع — ومكنت الرئيسيات من حمل الأشياء الصغيرة والتعامل معها بدقة أكبر مما تستطيع الثدييات الأخرى. جعلت الإبهامات القابلة للمعارضة الأيدى قابلة للإمساك[10] — قادرة على الإمساك بالأشياء عن طريق إحاطتها بالإبهام والأصابع (الشكل 1.4). الإبهام مهم جدًا لدرجة أنه يحظى بأولوية قصوى فى إصلاح إصابات اليد. إذا أمكن إنقاذ الإبهام، يمكن لليد أن تكون وظيفية إلى حد معقول؛ وإذا فقد، فإن وظائف اليد تتضاءل بشدة.





الشكل 1.4 التكيفات البشرية المشتركة مع الرئيسيات الأخرى. بعض الجوانب الرئيسية لتطور الرئيسيات هى الإبهام القابل للمعارضة، اليد القابلة للإمساك، العيون المواجهة للأمام، والرؤية المجسمة. فى البشر، أصبحت اليد مصقولة للتعامل بشكل متزايد مع الأشياء بشكل أكثر تعقيدًا.

شمبانزى: تيم ديفيس/Science Source

تحركت عيون الرئيسيات إلى وضعية مواجهة للأمام أكثر، مما سمح بالرؤية المجسمة[11] (إدراك العمق). وفرت هذه التكيفات تنسيقًا أفضل بين اليد والعين فى الإمساك بالفريسة والتعامل معها، مع ميزة إضافية تتمثل فى تسهيل تقدير المسافات بدقة عند القفز من شجرة إلى أخرى. الرؤية اللونية، النادرة بين الثدييات، هى أيضًا سمة مميزة للرئيسيات. تتغذى الرئيسيات بشكل رئيسى على الفواكه والأوراق. تمكنها القدرة على تمييز الظلال الدقيقة من اللون بين البرتقالى والأحمر من التمييز بين الفواكه الناضجة الحلوة والفواكه غير الناضجة. كما تساعدها القدرة على تمييز الظلال الدقيقة من اللون الأخضر على التمييز بين الأوراق الصغيرة الطرية والأوراق الأكبر سنًا الأكثر صلابة وسمية.

تنضج الفواكه المختلفة فى أوقات مختلفة وفى أماكن متباعدة على نطاق واسع فى الغابة الاستوائية. وهذا يتطلب ذاكرة جيدة لما سيكون متاحًا، ومتى، وكيفية الوصول إليه. ربما تطورت أدمغة أكبر استجابةً لتحدى العثور على الطعام بكفاءة، ومهدت بدورها الأساس لتنظيم اجتماعى أكثر تطورًا.

[9] *arbor* = شجرة؛ *eal* = متعلق بـ
[10] *prehens* = للإمساك

[11] *stereo* = صلب؛ *scop* = رؤية

التشريح المقارن وعلم وظائف الأعضاء، اللذان كانا مثمرين جدًا لفهم بيولوجيا الإنسان. لو لم نكن مرتبطين بأى نوع آخر، لكانت هذه العلوم بلا جدوى.

العلم الناشئ لـالطب التطورى يحلل كيف يمكن تتبع الأمراض وا لاختلالات البشرية إلى الفروقات بين البيئة الصناعية التى نعيش فيها الآن، والبيئة ما قبل التاريخ التى تكيف *الإنسان العاقل (Homo sapiens)* بيولوجيًا معها. على سبيل المثال، يمكننا ربط اضطرابات النوم والمزاج بالإضاءة الصناعية والعمل فى نوبات الليل، وارتفاع حالات الر بو بهوسنا الحديث بالنظافة. أمثلة أخرى فى هذا الكتاب سترتبط التطو ر بالسمنة، والسكرى، وآلام أسفل الظهر، وسرطان الجلد، وقضايا صح ية أخرى.

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

9. عرف التكيف و ضغط الانتقاء. لماذا تعتبر هذه المفاهيم مهمة فى فهم تشريح ووظائف جسم الإنسان؟

10. اختر خاصيتين بشريتين وفسر كيف قد تكونا نشأتا من تكيفا ت الرئيسيات مع بيئة شجرية.

11. اختر خاصيتين بشريتين أخريين وفسر كيف قد تكونا نتجتا عن تكيف لاحق مع بيئة السهول العشبية.

1.5 التركيب البشرى

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. سرد مستويات التركيب البشرى من الأكثر تعقيدًا إلى الأبسط؛

ب. ناقش قيمة كل من وجهات النظر التحليلية والكلية لفهم ا لشكل البشرى والوظيفة؛ و

ج. ناقش الأهمية السريرية للتنوع التشريحى بين البشر.

فى وقت سابق من هذا الفصل، لاحظنا أن التشريح البشرى يُدرس باستخدام م جموعة متنوعة من التقنيات—مثل التشريح الجراحى، واللمس، وما إلى ذلك. بالإضافة إلى ذلك، يُدرس التشريح على عدة مستويات من التفاصيل، من الج سم الكامل وصولاً إلى المستوى الجزيئى.

1.5أ تسلسل التعقيد

فكر للحظة فى تشبيه للهيكل البشرى: اللغة الإنجليزية، مثل الجسم البشرى، معقدة جداً، ومع ذلك يمكن نقل مجموعة لا نهائية من الأفكار باستخدام عدد محدود من الكلمات. جميع الكلمات فى اللغة الإنجليزية تتكون بدورها من تركيبات مختلفة من 26 حرفًا فقط. بين المقالة والأبجدية توجد مستويات تنظيم أبسط بالتتابع: الفقرات، الجمل، الكلمات، والمقاطع الصوتية. يمكننا ا لقول إن اللغة تظهر تسلسلاً هرميًا من التعقيد، حيث تمثل الحروف، والمقا طع الصوتية، والكلمات، وهكذا، مستويات متعاقبة من هذا التسلسل.

لا يُقصد من هذا بأى حال أن البشر تطوروا من القرود — وهو م فهوم خاطئ شائع عن التطور لا يؤمن به أى عالم أحياء. ومع ذلك، تش ترك القرود والشمبانزى والبشر فى أسلاف مشتركة. علاقتنا ليست م ثل علاقة الوالد والطفل، بل أشبه بالأبناء الذين لهم نفس الأجداد. تو فر ملاحظات القرود والشمبانزى فهماً لكيفية تكيف الرئيسيات مع ال بيئة الشجرية، وبالتالى كيف نشأت بعض التكيفات البشرية على الأر ض.

1.4ح المشى منتصباً

منذ حوالى 4 إلى 5 ملايين سنة، أصبحت أجزاء من أفريقيا أكثر حرارة وجفافاً، وتم استبدال الكثير من الغابات بالسافانا)الأراضى العشبية(. تكيفت بعض الرئيسيات للعيش فى السافانا، لكنها كانت مكاناً خطير اً مع وجود المزيد من المفترسات وقلة الحماية.

تماماً كما يقف السناجب والقرود لفترة وجيزة على أقدامها الخلفية ل تتفقد الخطر، كان هؤلاء السكان الأوائل للأرض يفعلون الشىء نفسه. القدرة على الوقوف لا تساعد الحيوان فقط على البقاء متيقظاً، بل تتي ح أيضاً للأطراف الأمامية القيام بوظائف أخرى غير المشى. أحياناً يم شى الشمبانزى منتصباً لحمل الطعام أو الرضع أو الأسلحة)العصى وا لصخور(، ومن المعقول أن نفترض أن أسلافنا الأوائل فعلوا ذلك أيضاً .

هذه المزايا كانت كبيرة جداً لدرجة أنها فضلت التعديلات الهيكلي ة التى جعلت المشى على قدمين[12]—الوقوف والمشى على قدمين— أسهل. تشير الأدلة الأحفورية إلى أن المشى على قدمين كان راسخاً م نذ أكثر من 4 ملايين سنة. تكيفت تشريح الحوض البشرى، والفخذ، وا لركبة، والإبهام الكبير، وأقواس القدم، والعمود الفقرى، والجمجمة، وا لذراعين، والعديد من العضلات للحركة على قدمين)انظر نظرة أعمق 8.5(، وكذلك العديد من جوانب الحياة الأسرية والمجتمع البشرى. مع تكيف الهيكل العظمى والعضلات للمشى على قدمين، زاد حجم الدما غ بشكل كبير، من 400 مل منذ حوالى 4 ملايين سنة إلى متوسط 13 50 مل اليوم. لا بد أن مرور رضيع مكتمل النمو وذو دماغ كبير عبر مخ رج الحوض للأم عند الولادة أصبح أكثر صعوبة. قد يفسر هذا سبب ولا دة البشر فى حالة غير ناضجة نسبياً وعاجزة مقارنة بالثدييات الأخرى، قبل نضوج الجهاز العصبى واندماج عظام الجمجمة. قد تساعد حالة ا لعجز لدى الصغار البشر واعتمادهم الممتد على رعاية الوالدين فى تف سير قوة الروابط الأسرية الاستثنائية لدى البشر.

معظم أقدم الرئيسيات التى تمشى على قدمين مصنفة فى جنس *أسترالوبيثيكوس*)أوسترالو-بيث-إيكوس(. منذ حوالى 2.5 مليون سنة ، ظهر الهومينيدات بطول أكبر، وحجم دماغ أكبر، وأدوات حجرية بسي طة، وربما كلام منطوق. هؤلاء هم أقدم أعضاء جنس *الإنسان*. بحلول ما لا يقل عن 1.8 مليون سنة مضت، هاجر *الإنسان المنتصب* من أ فريقيا إلى أجزاء من آسيا.

الإنسان العاقل التشريحى *Homo sapiens,* نوعنا الخاص، نشأ فى أفر يقيا منذ حوالى 200,000 سنة وهو النوع الوحيد المتبقى من الهومين يدات.

هذا السرد الموجز بالكاد يبدأ فى شرح كيف شكلت الضغوط الان تقائية القديمة تشريح الإنسان ووظائفه وسلوكه. توضح الفصول اللاح قة بشكل أكبر أن المنظور التطورى يوفر فهماً ذا معنى لسبب كون ال بشر كما هم. التطور هو الأساس لـ

[12] *bi* = اثنان؛ *ped* = قدم

ابتداءً من الفصل السادس، يتم تنظيم هذا الكتاب حول أنظمة الأع
صناء.

العضو هو هيكل يتكون من نوعين أو أكثر من الأنسجة التى تعم
ل معًا لأداء وظيفة معينة. للأعضاء حدود تشريحية محددة ويمكن تم
ييزها بصريًا عن الهياكل المجاورة. معظم الأعضاء والمستويات الأعلى
من البنية تقع ضمن نطاق التشريح الكلى. ومع ذلك، هناك أعضاء دا
خل الأعضاء — فالأعضاء الكبيرة التى يمكن رؤيتها بالعين المجردة غا
لبًا ما تحتوى على أعضاء أصغر لا تُرى إلا بالمجهر. على سبيل المثال،
الجلد هو أكبر عضو فى الجسم. ويشمل آلاف الأعضاء الصغيرة: كل
شعرة، ظفر، غدة، عصب، ووعاء دموى فى الجلد هو عضو بحد ذاته.
يمكن أن ينتمى عضو واحد إلى نظامين عضويين. على سبيل المثال،
ينتمى البنكرياس إلى كل من الجهاز الغدد الصماء والجهاز الهضمى.

النسيج هو كتلة من الخلايا المتشابهة ومنتجات الخلايا التى تش
كل منطقة محددة من عضو وتؤدى وظيفة معينة. يتكون الجسم من أ
ربعة أنواع رئيسية فقط من الأنسجة: الطهارية، الضامة، العصبية، والع
ضلية. علم الأنسجة، وهو دراسة الأنسجة، هو موضوع الفصل الخام
س.

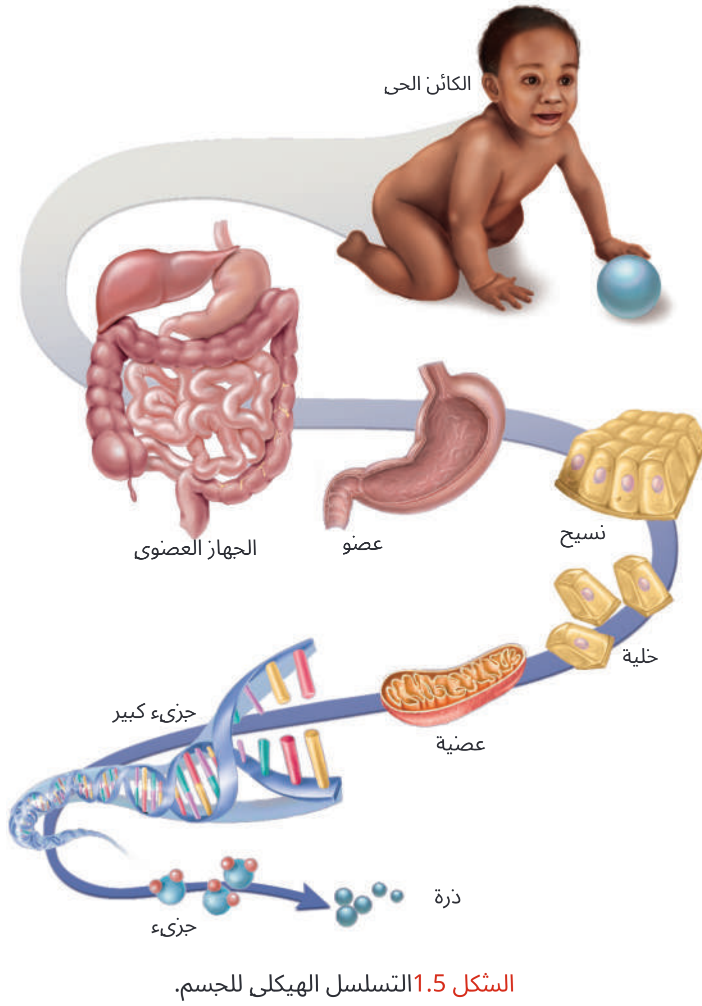
الخلايا هى أصغر وحدات الكائن الحى التى تقوم بجميع الوظائف ا
لأساسية للحياة؛ لا يُعتبر أى شىء أبسط من الخلية حيًا. تُحاط الخلية
بـ*غشاء بلازمى* يتكون من الدهون والبروتينات. معظم الخلايا تحتوى ع
لى نواة واحدة، وهى عضية تحتوى على DNA الخاص بها. *علم الخلايا*،
دراسة الخلايا والعضيات، هو موضوع الفصلين الثالث والرابع.

العضيات[13]هى هياكل مجهرية داخل الخلية تقوم بوظائفها الفرد
ية. من الأمثلة عليها الميتوكوندريا، المريكزات، والليسوسومات.

العضيات ومكونات الخلية الأخرى تتكون من جزيئات. أكبر الجزى
ئات، مثل البروتينات، الدهون، وDNA، تُسمى جزيئات كبيرة. الجزىء
هو جسيم يتكون من ذرتين على الأقل، الذرات هى أصغر الجسيمات
ذات الهويات الكيميائية الفريدة.

النظرية التى تقول إن نظامًا كبيرًا ومعقدًا مثل الجسم البشرى يم
كن فهمه بدراسة مكوناته الأبسط تُسمى التقليلية. التى أيدت أولاً من
قبل أرسطو، وقد ثبت أنها نهج مثمر للغاية؛ بل إنها ضرورية للتفكير ا
لعلمى. ومع ذلك، فإن النظرة التقليلية ليست الطريقة الوحيدة لفهم ا
لحياة البشرية. تمامًا كما سيكون من الصعب جدًا التنبؤ بكيفية عمل
ناقل حركة السيارة بمجرد النظر إلى كومة من تروسها وأذرعها المفككة
، لا يمكن أبدًا التنبؤ بشخصية الإنسان من معرفة كاملة بدوائر الدماغ أ
و تسلسل DNA الجينى. الشمولية [14]هى النظرية المكملة التى تقول
بوجود "خصائص ناشئة" للكائن الحى ككل لا يمكن التنبؤ بها من خ
صائص أجزائه المنفصلة — فالإنسان أكثر من مجموع أجزائه. لكى يكو
ن مقدم الرعاية الصحية أكثر فعالية، لا يعالج مجرد مرض أو نظام ع
ضوى، بل يعالج الشخص بأكمله. تؤثر تصورات المريض، استجاباته ا
لعاطفية للحياة، وثقته بالممرضة أو المعالج أو الطبيب بشكل عميق
على نتيجة العلاج.فى الواقع، غالبًا ما تلعب هذه العوامل النفسية دورًا
أكبر فى تعافى المريض من العلاجات الجسدية المقدمة.

[13]*إيلى* = صغير
[14]*هولو* = كامل، بأكمله



الشكل 1.5التسلسل الهيكلى للجسم.

يوجد لدى البشر تسلسل هرمى مماثل من التعقيد، كما يلى)الشكل
1.5):

الكائن الحى يتكون من أنظمة الأعضاء،
أنظمة الأعضاء تتكون من أعضاء،
الأعضاء تتكون من أنسجة،
الأنسجة تتكون من خلايا،
الخلايا تتكون جزئيًا من عضيات،
العضيات تتكون من جزيئات،
والجزيئات تتكون من ذرات.

الكائن الحى هو فرد واحد كامل.
نظامالأعضاء هو مجموعة من الأعضاء ذات وظيفة جماعية فريدة
، مثل الدورة الدموية، التنفس، أو الهضم. يحتوى الجسم البشرى على
11 نظامًا عضويًا، موضحة فى الأطلس A الذى يلى هذا الفصل مبا
شرة: الجهاز الجلدى، الهيكلى، العضلى، العصبى، الغدد الصماء، الدور
انى، اللمفاوى، التنفسى، البولى، الهضمى، والتناسلى. عادةً ما تكون أ
عضاء النظام الواحد متصلة جسديًا، مثل الكليتين، الحالبين، المثانة ا
لبولية، والإحليل، التى تشكل الجهاز البولى.



نظرة أعمق 1.2

التطبيق السريرى

situs inversus والتشريح غير المعتاد الآخر

فى معظم الناس، يكون الطحال، البنكرياس، القولون السينى، ومعظم القلب على اليسار، فى حين أن الزائدة الدودية، المرارة، ومعظم الكبد على اليمين. الترتيب الطبيعى لهذه الأعضاء وغيرها من الأعضاء الداخلية يُسمى *situs solitus* (سايتوس سوليهتوس). ومع ذلك، يولد حوالى 1 من كل 8000 شخص بخلل يُسمى *situs inversus* — حيث تُعكس أعضاء التجويف الصدرى والبطنى بين اليمين واليسار. الانعكاس الانتقائى لليمين واليسار للقلب يُسمى dextrocardia. فى situs perversus، يشغل عضو واحد موقعًا غير نمطى — على سبيل المثال، كلية تقع من خفضة فى تجويف الحوض بدلاً من مرتفعة فى التجويف البطنى.

الحالات مثل dextrocardia فى غياب situs inversus الكامل يمكن أن تسبب مشاكل طبية خطيرة. ومع ذلك، عادةً لا يسبب situs inversus الكامل مشاكل وظيفية لأن جميع الأحشاء، رغم انعكاسها، تحافظ على علاقاتها الطبيعية مع بعضها البعض. غالبًا ما يُكتشف situs inversus فى الجنين بواسطة السونار، لكن العديد من الأشخاص يظلون غير مدركين لحالتهم لعقود حتى يُكتشف ذلك بواسطة التصوير الطبى، أو الفحص البدنى، أو أثناء الجراحة. يمكنك بسهولة تخيل أهمية مثل هذه الحالات فى تشخيص التهاب الزائدة الدودية، إجراء جراحة المرارة، تفسير الأشعة السينية، الاستماع لصمامات القلب، أو تسجيل تخطيط القلب الكهربائى.

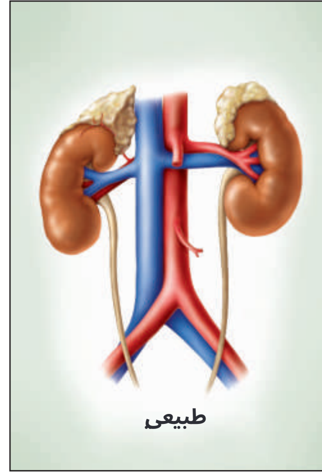
1.5ب التباين التشريحى

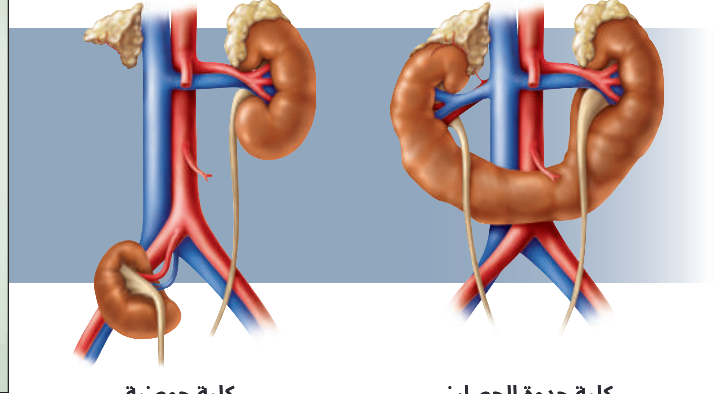
نظرة سريعة حول أى فصل دراسى تكفى لتُظهر أن لا إنسانين متطابقين تمامًا؛ وعند الفحص الدقيق، حتى التوائم المتماثلة تظهر اختلافات. ومع ذلك، يمكن لكتب التشريح والكتب المدرسية أن تعطى انطباعًا بأن التشريح الداخلى للجميع متشابه. هذا ببساطة غير صحيح. الكتب مثل هذا الكتاب يمكنها أن تعلمك فقط البنية الأكثر شيوعًا — التشريح الذى يُرى فى حوالى 70% أو أكثر من الناس. الشخص الذى يعتقد أن جميع الأجسام البشرية متشابهة داخليًا سيكون طالب طب مرتبك جدًا أو جراح غير كفء.

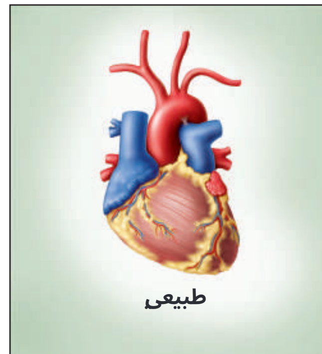
بعض الأشخاص يفتقرون إلى أعضاء معينة. على سبيل المثال، معظمنا لديه عضلة *palmaris longus* فى الساعد وعضلة *plantaris* فى الساق، لكن هذه العضلات غائبة عند آخرين. معظم الناس لديهم 24 ضلعًا، لكن حوالى 6% منا لديهم 23 أو 26 ضلعًا أو أكثر. معظمنا لديه طحال واحد وكليتان، لكن بعض الأشخاص لديهم طحلان أو كلية واحدة فقط. معظم الكلى تزود بشريان *renal artery* واحد وتُصرف بواسطة ureter واحد، لكن بعضهم لديهم شريانين كلويين أو حالبين (حالب مزدوج). التباينات فى التشريح الجنسى، الفسيولوجيا، والوراثة تكشف أن ليس الجميع يمكن تصنيفهم ببساطة كذكر أو أنثى (انظر النقاش الإضافى فى الفصل 27). الشكل 1.6 يعرض بعض التباينات الشائعة فى التشريح البشرى، وعمق الرؤية 1.2 يصف تباينًا دراماتيكيًا ومهمًا سريريًا.

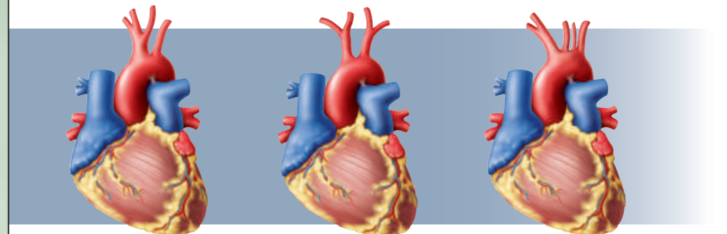
طبق ما تعرفه

الأشخاص الذين يعانون من حساسية تجاه الأسبرين أو البنسلين غالبًا ما يرتدون أساور أو عقود MedicAlert التى تشير إلى هذه الحقيقة فى حال احتاجوا إلى علاج طبى طارئ ولم يتمكنوا من التواصل. لماذا سيكون من المهم لشخص يعانى من situs inversus (انظر عمق الرؤية 1.2) أن يُذكر هذا على سوار MedicAlert؟









الشكل 1.6 التنوع فى تشريح الكليتين والشرايين الرئيسية القريبة من القلب.

تبذل طاقة كبيرة للحفاظ على النظام، ويصاحب انهيار هذا ا
لنظام المرض وغالبًا الموت.

- التركيب الخلوي.المادة الحية دائمًا ما تكون مقسمة إلى خلية وا
حدة أو أكثر.
- الأيض. الكائنات الحية تمتص جزيئات من البيئة وتغيرها كي
ميائيًا إلى جزيئات تشكل هياكلها الخاصة، تتحكم في وظائفها ا
لفسيولوجية، أو توفر لها الطاقة. الأيض[5] هو مجموع كل هذه ال
تغيرات الكيميائية الداخلية. هناك تجدد مستمر لجزيئات في ال
جسم. على الرغم من أنك تشعر باستمرارية الشخصية والتجربة م
ن طفولتك حتى الحاضر، فإن كل جزيء تقريبًا في جسمك قد
تم استبداله خلال العام الماضي.

- الاستجابة والحركة. القدرة على الإحساس والتفاعل مع المحفزا
ت)التغيرات في البيئة(تُسمى الاستجابة أو *الإثارة*. تحدث
على جميع المستويات من الخلية الواحدة إلى الجسم بأكمله، و
تتميز بها جميع الكائنات الحية من البكتيريا إلى الإنسان.
تكون الاستجابة واضحة بشكل خاص في الحيوانات بسبب
خلايا الأعصاب والعضلات التي تظهر حساسية عالية للمح
فزات البيئية، ونقل سريع للمعلومات، وردود فعل سريعة. مع
ظم الكائنات الحية قادرة على الحركة الذاتية من مكان إلى آخر،
وجميع الكائنات والخلايا على الأقل قادرة على تحريك المو
اد داخليًا، مثل تحريك الطعام على طول الجهاز الهضمي أو تح
ريك الجزيئات والعضيات من مكان إلى آخر داخل الخلية.

- التوازن الداخلي)الاستتباب(. على الرغم من تغير البيئة الم
حيطة بالكائن الحي، يحافظ الفرد على ظروف داخلية مستق
رة نسبيًا — على سبيل المثال، درجة حرارة مستقرة، ضغط
دم، ووزن الجسم. تُستكشف هذه القدرة على الحفاظ على الاس
تقرار الداخلي، المسماة *التوازن الداخلي)الاستتباب(*، في القسم
1.6c.

- النمو والتطور. التطور هو أي تغيير
في الشكل أو الوظيفة على مدار حياة الكائن الحي.
في معظم الكائنات الحية، يشمل ذلك عمليتين رئيسيتين:
(1) التمايز، تحول الخلايا التي لا تحتوي على
وظيفة متخصصة داخل الخلايا الملتزمة بمهمة معينة؛ و)2(
النمو، وهو زيادة في الحجم. بعض الأشياء غير الحية تنمو، ولكن
ليس بالطريقة التي ينمو بها جسمك. إذا تركت محلول س
كر مشبع يتبخر، تنمو البلورات منه، ولكن ليس من خلال
تغيير في تركيب السكر. فهي ببساطة تضيف المزيد من جز
يئات السكر من المحلول إلى سطح البلورة. أما نمو الجسم،
بالمقابل، فيحدث من خلال تغير كيميائي)الأيض(؛ فمعظم ح
سمك ليس مكونًا من الجزيئات التي أكلتها، بل من جزيئات
تم تصنيعها عن طريق تعديل كيميائي لمغذياتك.

[5] *الأيض* = التغيير؛ *الإسم* = العملية

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

12. في تسلسل الهيكل البشري، ما هو المستوى بين نظام الأعضاء والأنسجة؟ وبين الخلية و الجزيء؟
13. كيف ترتبط الأنسجة بتعريف العضو؟
14. لماذا يُعتبر التبسيط)الاختزالية(وجهة نظر ضرورية ولكنها غير كافية لفهم مرض المريض بشكل كامل؟
15. لماذا يجب على طلاب الطب مراقبة عدة جثث وعدم الاكتفاء بت شريح واحدة فقط؟

الوظيفة البشرية 1.6

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. ذكر الخصائص التي تميز الكائنات الحية عن الأشياء غير الحية؛

ب. شرح أهمية التباين الفسيولوجي بين الأشخاص؛

ج. حدد التوازن الداخلي)هوميوستاسيس(وشرح لماذا هذا المفهوم محوري في علم وظائف الأعضاء؛

د. حدد التغذية الراجعة السلبية)نيجاتيف فيدباك(، قدم مثالاً عليها، و شرح أهميتها للتوازن الداخلي)هوميوستاسيس(؛

هـ. حدد التغذية الراجعة الإيجابية)بوزيتيف فيدباك(وقدم أمثلة على آثارها المفيدة والضارة؛ و

و. حدد التدرج)غراديانت(، وصف تنوع التدرجات في علم وظائف الأعضاء البشري، وتحديد بعض أشكال المادة و الطاقة التي تتدفق عبر التدرجات.

1.6أ خصائص الحياة

لماذا نعتبر الطفل النامي حيًا، ولكن لا نعتبر البلورة النامية كذلك؟ هل الإجهاض هو أخذ حياة إنسان؟ إذا كان الأمر كذلك، ماذا عن رغوة منع الحمل التي تقتل الحيوانات المنوية فقط؟ عندما يكون المريض يح تضر، في أي نقطة يصبح من الأخلاقي فصل أجهزة دعم الحياة وإزالة ا لأعضاء للتبرع؟ إذا كانت هذه الأعضاء حية، كما يجب أن تكون لخدمة شخص آخر، فلماذا لا يُعتبر المتبرع حيًا؟ مثل هذه الأسئلة لا توجد لها إجابات سهلة، لكنها تتطلب مفهومًا لماهية الحياة — وهو مفهوم قد يختلف حسب المنظور البيولوجي أو الطبي أو القانوني أو الأخلاقي أو ا لديني للفرد.

ببساطة، لا يوجد تعريف ثابت لـ *الحياة*. تعريف *الحياة* مراوغ، مثل محاولة تعريف *الجاز* أو *الشعر*. يمكننا فقط سرد بعض الخصائص العالمية للأشياء التي يعتبرها معظم الناس حية:

- التنظيم. الكائنات الحية تظهر مستوى أعلى بكثير من التنظيم مقارنة بالعالم غير الحي من حولها. هم

التوازن الداخلي *homeostasis* هذا الاستقرار الداخلي. كانت هذه واحدة من أكثر النظريات إيضاحًا في علم الفسيولوجيا. نرى الآن علم الفسيولوجيا كجزء كبير من مجموعة الآليات التي تحافظ على التوازن الداخلي، وفقدان التحكم في التوازن الداخلي هو سبب المرض والموت. علم الأمراض الفسيولوجي هو في الأساس دراسة الحالات غير المستقرة التي تنتج عندما تتعطل آليات التوازن الداخلي لدينا.

ومع ذلك، لا تبالغ في تقدير درجة الاستقرار الداخلي. الظروف الداخلية ليست ثابتة تمامًا بل تتقلب ضمن نطاق محدود، مثل نطاق درجات حرارة الجسم الذي ذُكر سابقًا. الحالة الداخلية للجسم توصف بشكل أفضل بأنها توازن ديناميكي (تغير متوازن)، حيث يوجد نقطة ضبط أو قيمة متوسطة لمتغير معين (مثل 37 درجة مئوية لدرجة حرارة الجسم) وتتقلب الظروف قليلاً حول هذه النقطة.

الآلية الأساسية التي تحافظ على المتغير قريبًا من نقطة ضبطه هي التغذية الراجعة السلبية — وهي عملية يشعر فيها الجسم بتغير ويُفعّل آليات تلغي أو تعكس هذا التغير. من خلال الحفاظ على الاستقرار، تُعد التغذية الراجعة السلبية الآلية الرئيسية للحفاظ على الصحة.

يمكن فهم هذه المبادئ من خلال المقارنة مع نظام تدفئة المنزل (الشكل 1.7أ). افترض أنه يوم شتاء بارد وقد ضبطت منظم الحرارة على 20 درجة مئوية (68 درجة فهرنهايت — نقطة الضبط). إذا أصبح الغرفة باردة جدًا، يقوم مفتاح حساس للحرارة في منظم الحرارة بتشغيل الفرن. ترتفع درجة الحرارة إلى ما فوق نقطة الضبط قليلاً، ثم يقوم المفتاح بفصل الدائرة ويطفئ الفرن. هذه عملية تغذية راجعة سلبية تعكس انخفاض درجة الحرارة وتحافظ عليها ضمن نطاق ضيق من نقطة الضبط. عندما ينطفئ الفرن، تنخفض درجة الحرارة ببطء مرة أخرى حتى يُعاد تفعيل المفتاح — وهكذا، يعمل الفرن بالتناوب طوال اليوم. درجة حرارة الغرفة لا تبقى عند 20 درجة مئوية بالضبط بل تتقلب قليلاً — يحافظ النظام على حالة توازن ديناميكي حيث تكون درجة الحرارة في المتوسط 20 درجة مئوية وتنحرف قليلاً فقط عن نقطة الضبط. نظرًا لأن آليات التغذية الراجعة تغير التغيرات الأصلية التي أثارتها (مثل درجة الحرارة)، غالبًا ما تُسمى حلقات التغذية الراجعة.

تنظم درجة حرارة الجسم بطريقة مماثلة بواسطة "منظم حرارة" — مجموعة من الخلايا العصبية في قاعدة الدماغ تراقب درجة حرارة الدم. إذا ارتفعت حرارتك، يُفعّل منظم الحرارة آليات فقدان الحرارة (الشكل 1.7ب). واحدة من هذه الآليات هي توسع الأوعية الدموية (VA-Y-zo-dy-LAY-shun)، وهو اتساع الأوعية الدموية. عندما تتوسع أوعية الجلد، يتدفق الدم الدافئ بالقرب من سطح الجسم ويفقد الحرارة إلى الهواء المحيط. إذا لم يكن هذا كافيًا لإعادة درجة حرارتك إلى الوضع الطبيعي، يحدث التعرق؛ حيث أن تبخر الماء من الجلد له تأثير تبريد قوي (انظر نظرة أعمق 1.3). وعلى العكس، إذا كان الجو باردًا وانخفضت درجة حرارة جسمك كثيرًا عن 37 درجة مئوية، تُفعّل هذه الخلايا العصبية آليات حفظ الحرارة. أول ما يُفعّل هو تضيق الأوعية الدموية، وهو تضييق الأوعية الدموية في الجلد، مما يساعد على الاحتفاظ بالدم الدافئ في أعماق الجسم وتقليل فقدان الحرارة. إذا لم يكن هذا كافيًا، يُفعّل الدماغ الارتعاش — وهو اهتزاز العضلات الذي يولد الحرارة.

لنأخذ مثالًا آخر — التحكم في التوازن الداخلي لضغط الدم. عندما تنهض من السرير صباحًا، تسبب الجاذبية تصريف بعض دمك من رأسك وجذعك العلوي، مما يؤدي إلى انخفاض ضغط الدم في هذه المنطقة —

- التكاثر. الكائنات الحية تنتج نسخًا من نفسها، وبالتالي تنقل جيناتها إلى حاويات جديدة وأصغر سناً—أبناؤها.
- التطور. جميع الأنواع الحية تطهر تغيرًا جينيًا من جيل إلى جيل وبالتالي تتطور. يحدث هذا لأن *الطفرات* (التغيرات في بنية الحمض النووي) أمر لا مفر منه وضغوط الانتقاء البيئي تفضل انتقال بعض الجينات أكثر من غيرها. على عكس الخصائص الأخرى للحياة، التطور هو خاصية تُرى فقط في السكان أو تجمع الجينات ككل. لا يتطور فرد واحد خلال حياته.

المعايير السريرية والقانونية للحياة تختلف عن هذه المعايير البيولوجية. يمكن إعلان وفاة شخص قانونيًا إذا لم تطهر عليه موجات دماغية لمدة 24 ساعة، ولم يكن لديه ردود فعل، أو تنفس، أو تدفق دم سوى ما توفره أجهزة دعم الحياة الاصطناعية. ومع ذلك، في ذلك الوقت، لا يزال معظم الجسم حيًا بيولوجيًا وقد تكون أعضاؤه مفيدة للزرع.

1.6ب التباين الفسيولوجي

سبق أن نظرنا في الأهمية السريرية للتباينات في التشريح البشري، لكن الفسيولوجيا أكثر تقلبًا. تختلف المتغيرات الفسيولوجية حسب الجنس، العمر، الوزن، النظام الغذائي، درجة النشاط البدني، الوراثة، والبيئة، من بين عوامل أخرى. عدم مراعاة هذا التباين يؤدي إلى أخطاء طبية مثل الإفراط في دواء كبار السن أو علاج النساء بناءً على أبحاث أجريت على رجال شباب. إذا ذكر كتاب دراسي معدل ضربات القلب النموذجي، ضغط الدم، عدد خلايا الدم الحمراء، أو درجة حرارة الجسم، يُفترض عمومًا، ما لم يُذكر خلاف ذلك، أن هذه القيم تشير إلى شخص سليم يبلغ من العمر 22 عامًا ويزن 58 كجم (128 رطل) للإناث و70 كجم (154 رطل) للذكور، ونمط حياة يتسم بنشاط بدني خفيف وتناول سعرات حرارية معتدل (2000 و2800 كيلو كالوري/يوم، على التوالي).

1.6ح التغذية الراجعة السلبية والتوازن الداخلي

لجسم الإنسان قدرة مذهلة على الاستعادة الذاتية. علق أبقراط بأن الجسم عادة ما يعود إلى حالة توازن من تلقاء نفسه، ويتعافى الناس من معظم الأمراض حتى بدون مساعدة الطبيب. تنجم هذه الميل عن التوازن الداخلي[16] (HO-me-oh-STAY-sis)، قدرة الجسم على اكتشاف التغير، وتنشيط الآليات التي تعارضه، وبالتالي الحفاظ على ظروف داخلية مستقرة نسبيًا، حتى في ظل تغيرات أكبر في البيئة المحيطة.

لاحظ عالم الفسيولوجيا الفرنسي كلود برنارد (1813–1878) أن الظروف الداخلية للجسم تبقى ثابتة إلى حد كبير حتى عندما تختلف الظروف الخارجية بشكل كبير. على سبيل المثال، سواء كان الجو باردًا جدًا أو حارًا جدًا في الخارج، تبقى درجة حرارة الجسم الداخلية ضمن نطاق حوالي 36° إلى 37°م (97°–99°ف).
عالم الفسيولوجيا الأمريكي والتر كانون (1871–1945) صاغ مصطلح

[16] *homeo* = نفس الشيء؛ *stas* = وضع، وقوف، بقاء

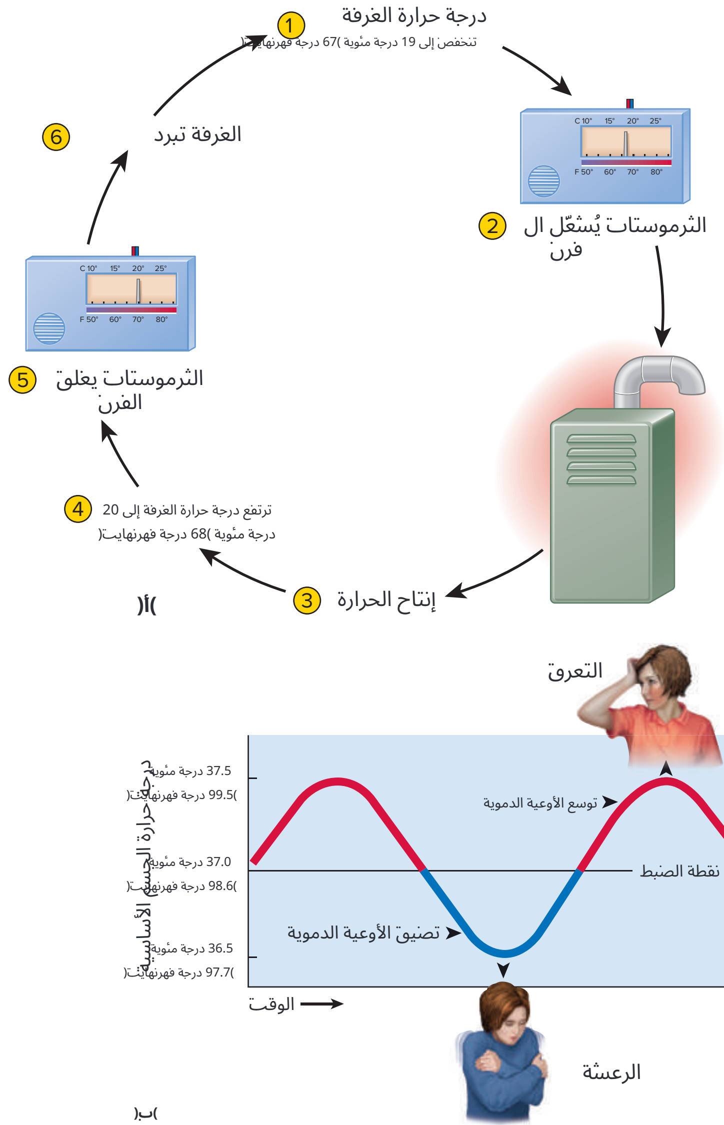
نظرة أعمق 1.3



التاريخ الطبى

الرجال فى الفرن

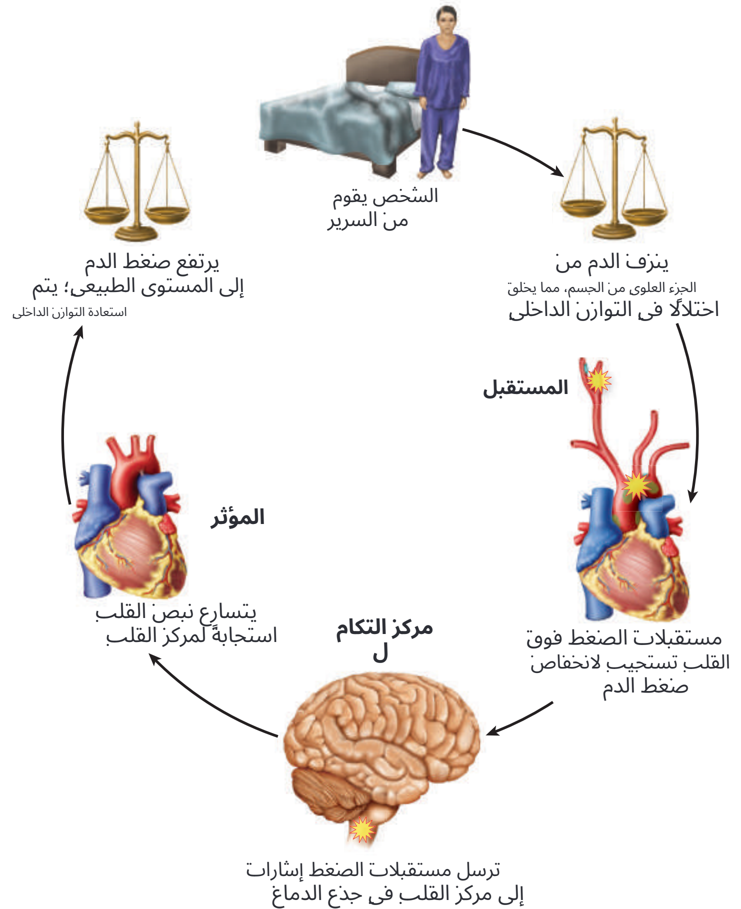
قام الطبيب الإنجليزى تشارلز بلاجدن)1748–1820(بعرض مسرحى إلى حد ما عن ا لتوازن الداخلى)الاستتباب(قبل وقت طويل من أن صاغ كانون هذه الكلمة. فى عام 1775، قضى بلاجدن 45 دقيقة فى غرفة مسخنة إلى 127 درجة مئوية)260 درجة فهرنهايت(— مع كلب، وشرائح لحم البيفستيك والبيض، وبعض زملاء البحث. بما أن شرائح اللحم كانت ميتة وغير قادرة على الحفاظ على التوازن الداخلى، فقد نُضجت جيدًا فى غضون 13 دقيقة فقط وأصبحت شبه جافة بعد 47 دقيقة، كما نُضج البيض تمامًا. لكن الكلب كان حيًا وقادرًا على التبريد بالتبخر، فكان يلهث وا لرجال كانوا يتعرقون بغزارة. حتى فى درجات حرارة الغرفة القصوى هذه، كانت در جات حرارة الفم لدى الرجال تتراوح فقط بين 37° إلى 38° مئوية)98°–100° فهر نهايت(. قال بلاجدن إن فتحات أنوفهم كانت تشعر بالحرقان فى كل مرة يستنشق ون فيها هواء الغرفة الساخن، وتبرد فى كل مرة يزفرون فيها.
نجا الجميع بما فى ذلك الكلب، لكن التاريخ لا يسجل ما إذا كان الرجال قد أكلوا شرائح اللحم احتفالًا أم شاركوها مع الكلب.



الشكل 1.7 الارتجاع السلبى فى تنظيم الحرارة.
)أ(حلقة الارتجاع السلبى التى تحافظ على درجة حرارة الغرفة.
)ب(عادةً ما يحافظ الارتجاع السلبى على درجة حرارة جسم الإنسان ضمن ح والى 0.5 درجة مئوية من نقطة الضبط 37 درجة مئوية. يبدأ تضيق الأوعية ا لجلدية والارتعاش عندما تنخفض درجة حرارة الجسم كثيرًا، مما يرفعها بسر عة. يبدأ توسع الأوعية الجلدية والتعرق عندما ترتفع درجة حرارة الجسم كثيرًا، مما يخفضها بسرعة.

كيف يقلل توسع الأوعية من درجة حرارة الجسم؟

هذا التصحيح الانعكاسى لضغط الدم)الانعكاس الضغطى(يو ضح ثلاثة مكونات شائعة، وإن لم تكن عالمية، لحلقة الارتجاع: مستق بل، مركز تكاملى، ومؤثر. المستقبل هو هيكل يستشعر تغيرًا فى الج سم، مثل مستقبلات التمدد التى تراقب ضغط الدم. المركز التكميلى)التحكمى(، مثل مركز القلب فى



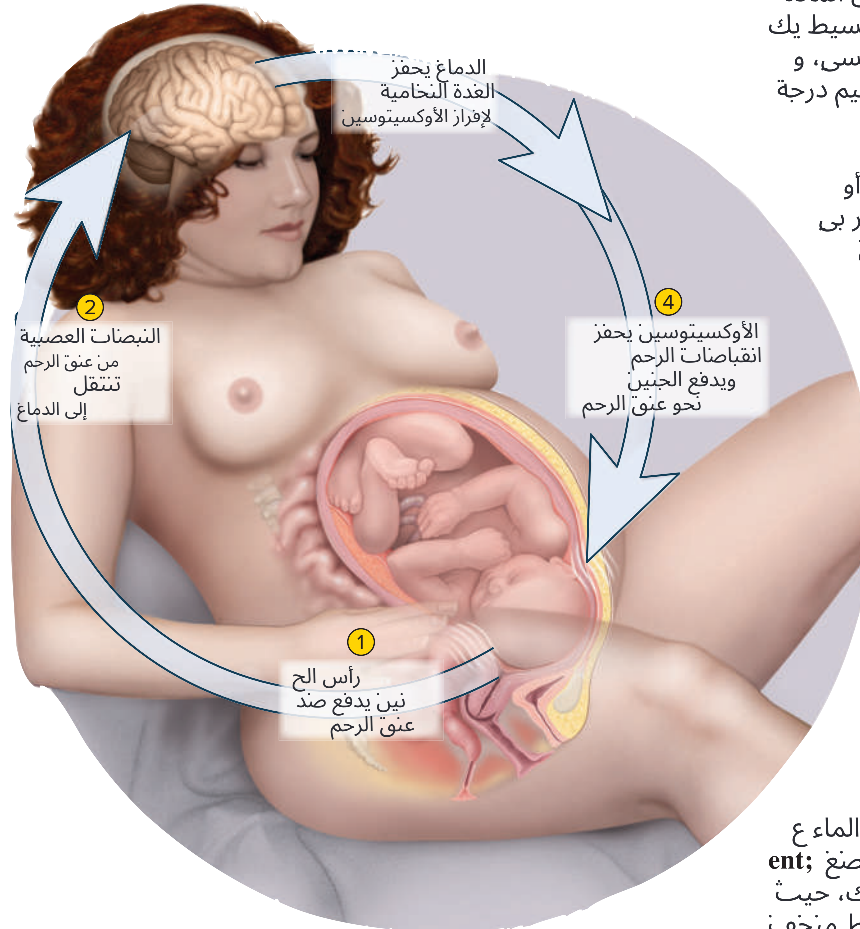
الشكل 1.8 التعويض الاستتبابى لتغير وضعية ضغط الدم.

اختلال التوازن المحلى فى الثبات الداخلى)الشكل 1.8(. يتم اكتشاف هذا بواسطة نهايات الأعصاب الحسية المسماة *مستقبلات الضغط* فى الشرايين الكبيرة فوق القلب. تنقل هذه المستقبلات إشارات ع صبية إلى جذع الدماغ، حيث يوجد لدينا *مركز القلب* الذى ينظم معد ل ضربات القلب. يستجيب مركز القلب بإرسال إشارات عصبية إلى ا لقلب، مما يسرع من ضرباته. يؤدى تسارع معدل ضربات القلب إلى ر فع ضغط الدم بسرعة واستعادة الثبات الداخلى الطبيعى. فى كبار ال سن، يكون هذا الحلقة الراجعة أحيانًا بطيئة فى الاستجابة، وقد يشعرو ن بالدوار عند النهوض من وضع الاستلقاء بسبب انخفاض ضغط الدم الدماغى. وهذا قد يسبب أحيانًا الإغماء.

الدماغ، هو آلية تعالج هذه المعلومات، وترتبط بمعلومات أخرى متاحة
)على سبيل المثال، مقارنة ضغط الدم بما يجب أن يكون عليه(، وتتخ
ذ قرارًا بشأن الاستجابة المناسبة. المُنفذ)effector(هو الخلية أو الع
ضو الذى ينفذ الإجراء التصحيحى النهائى. فى المثال السابق، هو القَ
لب. ثم يتم استشعار الاستجابة، مثل استعادة ضغط الدم الطبيعى،
بواسطة المستقبل، ويكتمل حلقة التغذية الراجعة.

1.6d التغذية الراجعة الإيجابية والتغير السريع

التغذية الراجعة الإيجابية)Positive feedback(هى دورة ذاتية التعز
يز حيث يؤدى التغير الفسيولوجى إلى تغير أكبر فى نفس الاتجاه، بدلاً
من إنتاج التأثيرات التصحيحية للتغذية الراجعة السلبية. غالبًا ما تكون
التغذية الراجعة الإيجابية وسيلة طبيعية لإحداث تغير سريع. على س
بيل المثال، عندما تلد المرأة، يدفع رأس الجنين عنق الرحم)رقبة الرح
م(ويحفز نهايات الأعصاب فيه)الشكل 1.9(. تنتقل الإشارات العص
بية إلى الدماغ، الذى بدوره يحفز الغدة النخامية على إفراز هرمون الأو
كسيتوسين. يتنقل الأوكسيتوسين فى الدم ويحفز الرحم على الانقبا
ض.



الشكل 1.9 التغذية الراجعة الإيجابية فى الولادة.

هل يمكن اعتبار الولادة ككل حدث تغذية راجعة سلبية؟ ناقش.

يدفع الجنين للأسفل، مما يحفز عنق الرحم أكثر ويتسبب فى تكرار ح
لقة التغذية الراجعة الإيجابية. لذلك تصبح انقباضات الولادة أكثر شدة
حتى يتم طرد الجنين. تُرى حالات أخرى من التغذية الراجعة الإيجابية ا
لمفيدة لاحقًا فى هذا الكتاب، مثل تجلط الدم، وهضم البروتين، وتول
يد الإشارات العصبية.

ومع ذلك، غالبًا ما تكون التغذية الراجعة الإيجابية عملية ضارة أو
حتى مهددة للحياة. وذلك لأن طبيعتها الذاتية التعزيز يمكن أن تغير
بسرعة الحالة الداخلية للجسم إلى شىء بعيد عن نقطة التوازن الداخل
ى)التوازن الحيوى(. خذ على سبيل المثال الحمى العالية. الحمى النا
تجة عن العدوى مفيدة حتى حد معين، ولكن إذا ارتفعت درجة حرارة ا
لجسم فوق 40 درجة مئوية)104 فهرنهايت(، يمكن أن تخلق حلقة
تغذية راجعة إيجابية خطيرة. هذه الحرارة العالية ترفع معدل الأيض، م
ما يجعل الجسم ينتج الحرارة أسرع مما يمكنه التخلص منها. وهكذا
ترتفع درجة الحرارة أكثر، مما يزيد معدل الأيض وإنتاج الحرارة أكثر. تـ
صبح هذه "الدائرة الخبيثة" قاتلة عند حوالى 45 درجة مئوية)113 فهر
نهايت(. لذلك غالبًا ما تخلق حلقات التغذية الراجعة الإيجابية حالات
خارجة عن السيطرة وخطيرة تتطلب علاجًا طبيًا طارئًا.

1.6e التدرجات والتدفق

مفهوم أساسى آخر سيظهر مرارًا وتكرارًا فى هذا الكتاب هو أن المادة
والطاقة تميل إلى *التدفق نزولاً على التدرجات*. هذا المبدأ البسيط يك
من وراء عمليات متنوعة مثل دوران الدم، وتدفق الهواء التنفسى، و
تكوين البول، وامتصاص المغذيات، وتوزيع ماء الجسم، وتنظيم درجة
الحرارة، وعمل الأعصاب والعضلات.

التدرج الفسيولوجى)gradient(هو فرق فى تركيز كيميائى، أو
شحنة كهربائية، أو ضغط فيزيائى، أو درجة حرارة، أو متغير آخر بى
ن نقطتين. إذا تحركت المادة أو الطاقة من النقطة التى يكون
فيها هذا المتغير أعلى قيمة إلى النقطة التى تكون فيها القيم
ة أقل، نقول إنها تتدفق نزولاً على التدرج — على سبيل الم
ثال، من نقطة أكثر دفئًا إلى نقطة أبرد، أو من مكان ذو تر
كيز كيميائى عالٍ إلى مكان ذو تركيز أقل. الحركة فى الاتجا
ه المعاكس تسمى صعودًا على التدرج.

خارج علم الأحياء، يمكن أن يعنى *التدرج* تلًا أو منح
درًا، وهذا يوفر لنا تشبيهًا مفيدًا للعمليات البيولوجية)ا
لشكل 1.10a(. عربة تُترك فى أعلى التل ستتدحرج نزولاً
)"تتدفق"(تلقائيًا، دون الحاجة إلى بذل أى طاقة لتحري
كها.
وبالمثل، تتدفق المادة والطاقة فى الجسم تلقائيًا نزولاً ع
لى التدرجات، دون إنفاق طاقة أيضية. أما الحركة صعودًا ع
لى التدرج فتتطلب إنفاق طاقة، تمامًا كما نحتاج إلى دفع أو
سحب عربة لتحريكها صعودًا على التل.

فكر فى بعض الأمثلة والتشبيهات. إذا فتحت صنبور ماء مع
خرطوم حديقة متصل به، فإنك تخلق تدرج ضغط يتدفق الماء ع
بر الخرطوم من نقطة الضغط العالى عند الصنبور إلى نقطة الضغ **ent;**
ط المنخفض عند الطرف المفتوح. كل نبضة قلب تشبه ذلك، حيث
تخلق تدرجًا من ضغط دم مرتفع بالقرب من القلب إلى ضغط منخف
ض بعيدًا عنه؛ يتدفق الدم نزولاً على هذا التدرج بعيدًا عن القلب)ال
شكل 1.10b(. عندما نستنشق، يتدفق الهواء نزولاً على تدرج ضغط
من الغلاف الجوى المحيط إلى ممرات الهواء الرئوية حيث يكون الضغ
ط أقل. تدرج الضغط

كما يدفع العملية التى تقوم فيها الكليتان بترشيح الماء والنفايات من الدم.

تتدفق المواد الكيميائية عبر تدرجات التركيز. عندما نهضم النشا، يتراكم تركيز عالٍ من السكريات فى الأمعاء الدقيقة. تحتوى الخلايا الم بطنة للأمعاء على تركيز منخفض فقط من السكريات، لذا تتدفق الس كريات من فراغ الأمعاء إلى هذه الخلايا، وبالتالى يتم امتصاصها فى أن سجة الجسم.)الشكل 1.10ح(. يتدفق الماء عبر أغشية الخلايا والطهارة بواسطة الا سموز، من الجانب الذى يكون فيه أكثر تركيزًا إلى الجانب الذى يكون فيه أقل تركيزًا.

تتدفق الجسيمات المشحونة عبر تدرجات كهربائية. افترض وجو د تركيز عالٍ من أيونات الصوديوم)Na^+(خارج الخلية مباشرة وتركيز أ قل بكثير داخلها، لذا يكون السطح الخارجى لغشاء الخلية مشحونًا إيجا بيًا نسبيًا والسطح الداخلى مشحونًا سالبًا نسبيًا)الشكل 1.10د(. إذا فتحنا قنوات فى الغشاء تسمح بمرور الصوديوم، تتدفق أيونات الصو ديوم بسرعة إلى داخل الخلية، متجهةً نحو تدرجها الكهربائى. نظرًا لأن كل Na^+ يحمل شحنة موجبة، فإن هذا التدفق يشكل تيارًا كهربائيًا ع بر الغشاء. نستغل هذا التيار لجعل أعصابنا تنطلق، وقلبنا ينبض، وع ضلاتنا تنقبض. فى كثير من الحالات، يتحكم تدفق الأيونات بمزيج م ن اختلافات التركيز والشحنة الكهربائية بين نقطتين، ونقول إن الأيونا ت تتدفق عبر التدرجات الكهروكيميائية. سيتم دراسة هذه الظاهرة ب شكل خاص فى سياق عمل العضلات والأعصاب فى الفصلين 11 و1 2.

يتدفق الحرارة عبر تدرج حرارى. افترض وجود دم دافئ يتدفق ع بر شرايين صغيرة قريبة من سطح الجلد، وأن درجة حرارة الهواء المح يط بالجسم أبرد)الشكل 1.10هـ(. تتدفق الحرارة من الدم عبر الأنسجة إلى الهواء المحيط، متجهةً نحو تدرجها الحرارى، وتفقد من الجسم. سترى فى الفصل 27 أن تدفق ال حرارة مهم أيضًا فى منع ارتفاع حرارة الخصيتين، مما قد يمنع إنتاج ال حيوانات المنوية.

هكذا، يمكنك أن ترى أن هناك العديد من التطبيقات فى فسيولو جيا الإنسان لهذه الميل العالمى للمادة والطاقة للتدفق عبر التدرجات. يظهر هذا المبدأ مرات عديدة فى الفصول القادمة.

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

16. اذكر أربعة معايير بيولوجية للحياة ومعيارًا سريريًا واحدًا. اشرح كيف يمكن أن يكون الشخص ميتًا سريريًا ولكنه حى بيولوجيًا.

17. ما المقصود بالتوازن الديناميكى؟ لماذا سيكون من الخطأ القول إن التوازن الداخلى)التوازن الحيوى(يمنع التغير الداخلى؟

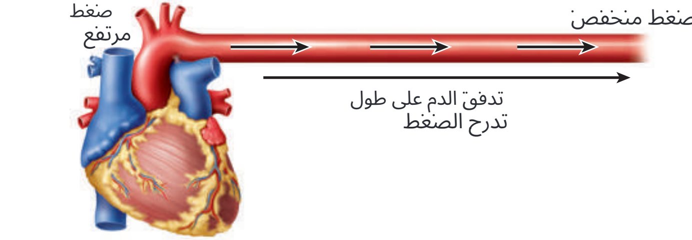
18. اشرح لماذا تُسمى آليات الاستقرار بالتغذية الراجعة السلبية.

19. اشرح لماذا من المرجح أن تتسبب التغذية الراجعة الإيجابية فى اضطراب التوازن الداخلى أكثر من التغذية الراجعة السلبية.

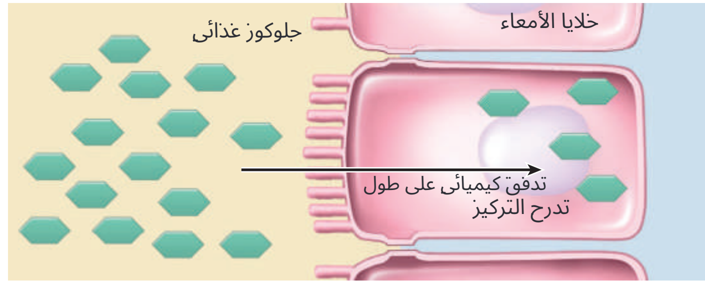
20. الأنسجة النشطة تولد ثانى أكسيد الكربون، الذى ينتشر من النسيج إلى مجرى الدم ليتم نقله بعيدًا. هل هذا الانتشار إلى الدم هو حالة تدفق صعودًا على التدرج أم هبوطًا؟ اشرح.



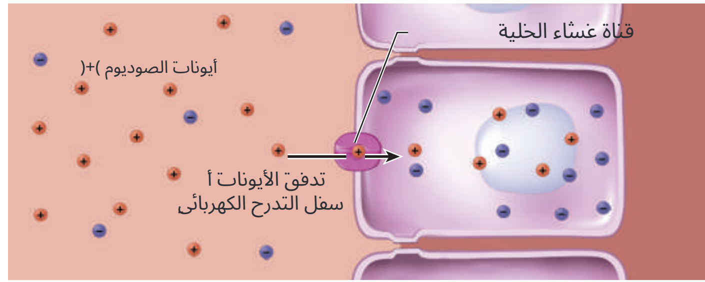
)أ(



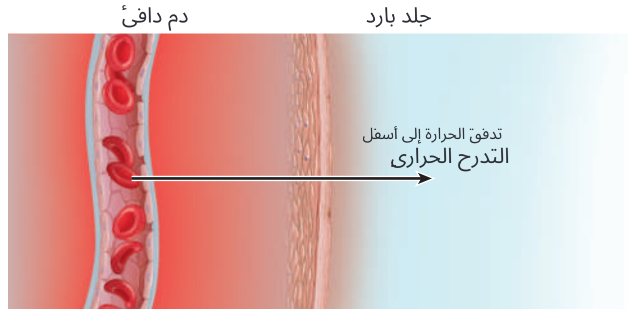
)ب(



)ح(



(d)



(e)

الشكل 1.10 التدفق على طول التدرجات.)أ(عربة تتدحرج أسفل التل)أسفل التدرج( )يسار(هو تشبيه مفيد للعمليات الفسيولوجية التلقائية المدفوعة بالتدرج. التحرك صعودًا على التدرج)يمين(يتطلب إدخال طاقة.)ب(تدفق الدم أسفل تدرج الضغط.)ح(تدفق السكريات الغذائية أسفل تدرج التركيز إلى داخل خلية الأمعاء.)د(تدفق أيونات الصوديوم أسفل التدرج الكهربائى إلى داخل الخلية.)هـ(تدفق الحرارة أسفل التدرج الحرارى لمغادرة الجسم عبر الجلد.

لغة الطب 1.7

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. اشرح لماذا تعتمد المصطلحات التشريحية الحديثة بشكل كبير ع
لى اليونانية واللاتينية؛

ب. تعرف على الأسماء المشتقة من أسماء الأشخاص عند رؤيتها؛

ج. وصف الجهود المبذولة لتحقيق مصطلحات تشريحية موحدة دو
ليًا؛

د. تفكيك المصطلحات الطبية إلى عناصرها الأساسية؛

هـ. اذكر بعض الأسباب التى تجعل المعنى الحرفى للكلمة
قد لا يوضح تعريفها؛

و. ربط أشكال الاسم المفرد بأشكال الجمع والصفات
؛ و

ز. ناقش لماذا التهجئة الدقيقة مهمة فى علم التشريح
والفسيولوجيا.

واحدة من أكبر التحديات التى يواجهها طلاب علم التشريح والفسيولوجيا هى
المفردات. فى هذا الكتاب، ستصادف مصطلحات لاتينية مثل *الجسم الثف*
نى)*corpus callosum*(وهى بنية دماغية(، *الرباط الشريانى*)*ligament*
um arteriosum) شريط ليفى صغير بالقرب من القلب(، و *العضلة البا*
سطة للكعبرة الطويلة)*extensor carpi radialis longus*(عضلة فى ال
ساعد(. قد تتساءل لماذا لا تُسمى البنى بـ"الإنجليزية العادية" فقط، وكيف
ستتذكر هذه الأسماء الصعبة. هذا القسم سيعطيك بعض الإجابات على هذه
الأسئلة وبعض النصائح المفيدة لإتقان المصطلحات التشريحية.

1.7a تاريخ المصطلحات التشريحية

الميزات الرئيسية للتشريح البشرى الكلى لها أسماء دولية موحدة مقرر
ة فى كتاب بعنوان *المصطلحات التشريحية*)*Terminologia Anat*
omica - TA). تم توثيق *TA* فى عام 1998 من قبل لجنة دولية من ع
لماء التشريح واعتمدته جمعيات مهنية لعلماء التشريح فى أكثر من 5
0 دولة.

حوالى 90% من المصطلحات الطبية الحالية تتكون من حوالى
1200 جذر يونانى ولاتينى فقط. لماذا هاتان اللغتان؟ لأن البحث
العلمى بدأ فى اليونان القديمة وسرعان ما انتشر إلى روما.
ابتكر اليونانيون والرومان العديد من الكلمات التى لا تزال تستخدم فى علم الت
شريح البشرى اليوم: *الاثنا عشر*)*duodenum*(، *الرحم*)*uterus*(، *البروستاتا*)*p*
rostate(، *المخيخ*)*cerebellum*(، *الحجاب الحاجز*)*diaphragm*(، *العج*
ز)*sacrum*(، *الأمينون*)*amnion*(وغيرها. فى عصر النهضة، تطلبت وتيرة الا
كتشاف السريعة وفرة من المصطلحات الجديدة لوصف الأشياء. بدأ علماء الت
شريح فى دول مختلفة بإعطاء أسماء مختلفة لنفس البنى. وزاد من الارتباك أنه
م غالبًا ما سموا البنى والأمراض الجديدة تكريمًا لأساتذتهم وسابقين لهم، مما أ
عطانا مصطلحات غير وصفية مثل قناة فالوب)fallopian tube(و قناة سان
تورينى)duct of Santorini(. المصطلحات المشتقة من أسماء الأشخاص، ال
معروفة باسم الأسماء المرمزة)eponyms(، لا تعطى دلالة واضحة عما هو ال
بنية أو الحالة.

على أمل حل هذا الارتباك المتزايد، بدأ علماء التشريح الاجتماع
فى وقت مبكر من عام 1895 لوضع مصطلحات دولية موحدة

[17] *epi* = *epo* = فوق، بناءً على؛ *nym* = اسم

بعد عدة محاولات فاشلة، اتفقوا على قائمة من المصطلحات التى ر
فضت جميع الأسماء المشتقة من أسماء أشخاص وأعطت لكل بنية ا
سمًا لاتينيًا فريدًا يُستخدم فى جميع أنحاء العالم. حتى إذا نظرت إلى أ
طلس تشريحى بالكورية أو العربية، فقد تكون الرسوم التوضيحية معنو
نة بنفس المصطلحات اللاتينية كما فى أطلس باللغة الإنجليزية. خدم
ت تلك القائمة لعقود عديدة حتى تم استبدالها مؤخرًا بـ *TA*, التى تحدد
الأسماء اللاتينية والنظائر الإنجليزية المقبولة. تتوافق المصطلحات
فى هذا الكتاب مع *TA* إلا فى الحالات التى قد ينتج عنها ارتباك غير م
برر من التخلى عن المصطلحات غير الرسمية المستخدمة على نطاق
واسع.

1.7ب تحليل المصطلحات الطبية

يبدو أن مهمة تعلم المصطلحات الطبية مرهقة فى البداية، لكنها مهار
ة بسيطة تساعد على الشعور براحة أكبر مع اللغة التقنية للطب. الأشخ
اص الذين يجدون المصطلحات العلمية محيرة وصعبة النطق والتهج
ئة والتذكر غالبًا ما يشعرون بثقة أكبر بمجرد أن يدركوا منطق تكوين ا
لمصطلحات. مصطلح مثل *hyponatremia* يصبح أقل رعبًا بمجرد أن
ندرك أنه يتكون من ثلاثة عناصر شائعة فى الكلمات:

hypo-) أقل من الطبيعى(، *natr-*) الصوديوم(، و *-emia*) حالة الدم(. وبالتا
لى، فإن hyponatremia تعنى نقص الصوديوم فى الدم.
تظهر هذه العناصر اللغوية مرارًا وتكرارًا فى العديد من المصطلحات ا
لطبية الأخرى: *hypothermia, natriuretic, anemia,* وغيرها. بمجرد أن
تتعلم معانى *hypo-, natri-,* و *-emia,* لديك بالفعل الأدوات لفهم مئات
المصطلحات الطبية الحيوية الأخرى جزئيًا على الأقل. فى الملحق E،
ستجد معجمًا لعناصر الكلمات التى يتم الإشارة إليها عادةً فى هذا ال
كتاب.

عادةً ما تتكون المصطلحات العلمية من عنصر واحد أو أكثر من ا
لعناصر التالية:

- على الأقل جذر واحد)ساق(يحمل المعنى الأساسى للكلمة. فى *car*
diology, على سبيل المثال، الجذر هو *cardi-*)القلب(.
العديد من الكلمات تحتوى على جذرين أو أكثر. فى *cardiomyopathy,* عل
ى سبيل المثال، الجذور هى *cardi-*)القلب(، *my-*)العضلة(، و *path-*)المرض(.

- *حروف العلة المركبة التى تُدرج غالبًا لربط الجذور وجعل الكلمة أ*
سهل فى النطق. فى cardiomyopathy, كل o هو حرف علة مر
كب. على الرغم من أن o هو أكثر حروف العلة المركبة شيوعًا، إلا أ
ن جميع حروف العلة فى الأبجدية تُستخدم بهذه الطريقة، مثل a فى
ligament, و e فى vitreous, و i فى fusiform, و u فى ovulation, و y
فى tachycardia. بعض الكلمات، مثل intervertebral, لا تحتوى على ح
روف علة مركبة. يُسمى الجمع بين الجذر وحرف العلة المركب الش
كل المركب؛ على سبيل المثال، chrom-)لون(+ o)حرف علة مرك
ب(يشكلان الشكل المركب chromo-, كما فى chromosome.

- قد يكون هناك بادئة لتعديل المعنى الأساسى للكلمة . على
سبيل المثال، المعدى)الذى يتعلق بالمعدة أو ببطن العضلة(
يأخذ معانٍ جديدة متنوعة عندما تضاف إليه بادئات: فوق الم
عدة)فوق المعدة(، تحت المعدة)تحت المعدة(، داخل المع
دة)داخل المعدة(، و ذو بطنين)عضلة ذات بطنين(.

- قد يُضاف لاحقة إلى نهاية الكلمة لتعديل المعنى الأساسى
لها. على سبيل المثال، المجهر، المجهرية، المجهرية الدقيقة، و
عالم المجهر لها معانٍ مختلفة بسبب اللاحقات فقط. غالبًا
ما تتواجد لاحقتان أو أكثر، أو جذر و



نظرة أعمق 1.4

التاريخ الطبى

أصول كلمات طبية غامضة

الترجمة الحرفية للكلمة لا توفر دائمًا فهمًا عميقًا لمعناها الحديث. تاريخ اللغة ملىء بالتحولات والمنعطفات التى هى بحد ذاتها مثيرة للاهتمام وتقول الكثير عن تاريخ الثقافة البشرية، لكنها قد تخلق ارتباكًا للطلاب.

على سبيل المثال، *amnion* هو كيس شفاف يتكون حولالجنين النامى. الكلمة مشتقة من amnos من اليونانية وتعنى"خروف". من هذا الأصل، أصبحت *amn os* تعنى وعاءً لالتقاطدم الخراف المضحاة، ومن هناك دخلت الكلمة إلى الاستخدام الطبى الحيوى للغشاء الذى يظهر)مليئًا بالدماء(كجزءمن المشيمة. acetabulum، تجويف مفصل الورك، تعنى حرفيًا"كوب الخل". على ما يبدو، ذكر تجويف الورك عالم التشريحبأكواب صغيرة كانت تستخدم لتقديم الخل كتوابل على موائد الطعامفى روما القديمة. يمكن ترجمة كلمة *testicles* إلى "أوانى صغيرة" أو"شهود صغار". يحتوى تاريخ اللغة الطبية على عدة تخمينات طريفةحول سبب اختيار هذه الكلمة لتسمية الغدد التناسلية الذكرية.

الجدول 1.1	الأشكال المفردة والجمع لبعض نهايات الأسماء	
نهاية المفرد	**نهاية الجمع**	**أمثلة**
-أ	-اء	الإبط، الإبطان
-ين	-ينا	التجويف، التجاويف
-إكس	-إيسيس	القشرة، القشور
-إيس	Preparedإعداد	تشخيص، تشخيصات
-إيس	-ides	البربخ، البربخات
-ix	-إيسيس	الزائدة الدودية، الزوائد الدودية
-ma	-mata	سرطان، سرطانات
-on	-أ	عقدة عصبية، عقد عصبية
-um	-أ	الحاجز، الحواجز
-us	-era	عضو داخلى، أعضاء داخلية
-us	-i	الزغابة، الزغابات
-us	-ora	الجسم، الأجسام
-x	-ges	العظم السلامى، العظام السلامية
-ى	-يات	المبيض، المبايض
-يكس	-يسيس	الكأس، الكؤوس

الكلمات الإنجليزية *كبير، أكبر،* و *الأكبر* هى أمثلة على درجات المقارنة الإيجابية، المقارنة، والتفضيلية. فى اللاتينية، هذه هى *magnus, major* (أو *maior*)، و *maximus.* نجدها فى أسماء العضلات *العضلة الضامة الكبرى*)عضلة *كبيرة* فى الفخذ(، *الصدرية الكبرى*)العضلة *الأكبر* من عضلتين صدريتين(، و *العضلة الألوية الكبرى*)العضلة *الأكبر* من ثلاث عضلات ألوية فى الأرداف(.

تشير بعض أشكال الأسماء إلى الملكية، مثل عضلة المستقيمة البطنية، وهى عضلة مستقيمة فى البطن) *البطنية،* "للبطن"(، و *العضلة القائمة على العمود الفقرى،* وهى عضلة تُقوّى *)القائمة(* العمود الفقرى) *العمود الفقرى،* "للعمود الفقرى"(.

غالبًا ما تتبع المصطلحات التشريحية أيضًا الممارسة اليونانية واللاتينية بوضع الصفة بعد الاسم. وبالتالى، نحن

وغالبًا ما تتواجد اللاحقة والجذر معًا بحيث تُعاملان معًا كـ *لاحقة مركبة؛* على سبيل المثال، *log*)دراسة(+ *y*)عملية(يشكلان اللاحقة المركبة *-logy*)دراسة(. تُسمى البوادئ واللواحق مجتمعة *اللواحق.*

لتلخيص هذه المبادئ الأساسية، اعتبر كلمة *أمراض الجهاز الهضمى،* وهو فرع من الطب يتعامل مع المعدة والأمعاء الدقيقة. تنقسم إلى *gastro/entero/logy:*

شكل تركيبى يعنى "معدة"	=	*gastro*
شكل مركب يعنى "الأمعاء الدقيقة"	=	*entero*
لاحقة مركبة تعنى "دراسة"	=	*لوجى*

"تفكيك" الكلمات بهذه الطريقة والانتباه إلى حواشى أصول الكلمات طوال هذا الكتاب سيساعدك على أن تصبح أكثر ارتياحًا مع لغة التشريح. معرفة كيفية تفكيك الكلمة ومعرفة معنى عناصرها يجعل من الأسهل بكثير نطق الكلمة وتهجئتها وتذكر تعريفها.

هناك بعض الاستثناءات المؤسفة، مع ذلك. فقد أصبح الطريق من المعنى الأصلى إلى الاستخدام الحالى غالبًا ما مغموصًا بسبب التاريخ)انظر الرؤية الأعمق 1.4(. النهج السابق أيضًا لا يساعد مع الأسماء المشتقة من أسماء أشخاص أو الاختصارات[18] — الكلمات المكونة من الحرف الأول، أو الحروف القليلة الأولى، من سلسلة كلمات. على سبيل المثال، طريقة تصوير طبية شائعة هى فحص PET، وهو اختصار لـ *التصوير المقطعى بالإصدار البوزيترونى.* لاحظ أن PET هى كلمة قابلة للنطق، وبالتالى فهى اختصار حقيقى. لا يجب الخلط بين الاختصارات والكلمات المختصرة أو *الحروف الأولى* مثل DNA وMRI، حيث يجب نطق كل حرف على حدة.

1.7ح الأشكال الجمع، الصفة، و أشكال الملكية

نقطة ارتباك لكثير من الطلاب المبتدئين هى كيفية التعرف على أشكال الجمع للمصطلحات الطبية. قليل من الناس قد يفشلون فى التعرف على أن *المبايض* هى جمع *المبيض،* لكن الربط أصعب فى حالات أخرى: على سبيل المثال، جمع القشرة هو *القشور* (COR-ti-sees)، وجمع *الجسد* هو الأجساد، وجمع *العقدة* هو *العقد.* الجدول 1.1 سيساعدك على الربط بين النهايات الشائعة للأسماء المفردة والجمع.

فى بعض الحالات، ما يبدو للمبتدئ ككلمتين مختلفتين تمامًا قد يكون فقط شكل الاسم والصفة لنفس الكلمة. على سبيل المثال، *العضد* يدل على الذراع، و brachii)كما فى اسم العضلة *العضلة ذات الرأسين العضدية(* تعنى "للذراع". *الرسغ* يدل على المعصم، و *carpi,* كلمة تستخدم فى عدة أسماء عضلات، تعنى "للمعصم". يمكن أن تأخذ الصفات أيضًا أشكالًا مختلفة للمفرد والجمع ولدرجات المقارنة المختلفة. *الأصابع* هى أصابع اليد والقدم. كلمة digiti فى اسم عضلة تعنى "للإصبع واحد)أو إصبع قدم واحد(". فى حين أن digitorum هى الجمع، وتعنى "لعدة أصابع)أو أصابع قدم(". وبالتالى، فإن *عضلة الباسطة للإصبع الصغير* تبسط فقط الإصبع الصغير، فى حين أن *عضلة الباسطة للأصابع* تبسط جميع الأصابع باستثناء الإبهام.

[18]*acro* = بداية؛ *nym* = اسم

1.8 مراجعة المواضيع الرئيسية

لإنهاء هذا الفصل، دعونا نلخص بعض النقاط الرئيسية منه. يمكن لهذه المواضيع أن تمنحك منظورًا يجعل بقية الكتاب أكثر معنى وليس مجرد مجموعة من الحقائق المنفصلة. هذه بعض المبادئ الموحدة الأساسية وراء كل دراسة لتشريح ووظائف الإنسان:

- وحدة الشكل والوظيفة. *الشكل والوظيفة يكملان بعضهما البعض؛ لا يمكن فصل الفسيولوجيا عن التشريح.* هذه الوحدة صحيحة حتى على المستوى الجزيئي. جزيئاتنا نفسها، مثل الحمض النووي (DNA) والبروتينات، مُنظمة بطريقة تمكنها من أداء وظائفها. التغيرات الطفيفة في البنية الجزيئية يمكن أن تدمر نشاطها وتهدد الحياة.

- نظرية الخلية. *كل البنية والوظيفة ناتجة عن نشاط الخلايا.* يجب في نهاية المطاف فهم كل مفهوم فسيولوجي في هذا الكتاب من منظور كيفية عمل الخلايا. حتى التشريح هو نتيجة لوظيفة الخلايا. إذا تضررت الخلايا أو دُمرت، نرى النتائج في أعراض المرض على مستوى الشخص بأكمله.

- التطور. *الجسم البشري هو نتاج التطور.* مثل كل الكائنات الحية الأخرى، تم تشكيلنا عبر ملايين السنين من الانتقاء الطبيعي لنتمكن من العمل في بيئة متغيرة. العديد من جوانب التشريح والفسيولوجيا البشرية تعكس تكيفات أسلافنا مع بيئتهم.

لا يمكن فهم الشكل والوظيفة البشرية بشكل كامل إلا في ضوء تاريخنا التطوري.

- تدرج التعقيد. *يمكن النظر إلى البنية البشرية كسلسلة من مستويات التعقيد.* كل مستوى يتكون من عدد أقل من الوحدات الفرعية الأبسط مقارنة بالمستوى الأعلى منه. تُرتب هذه الوحدات الفرعية بطرق مختلفة لتشكيل تراكيب متنوعة ذات تعقيد أعلى. فهم المكونات الأبسط هو المفتاح لفهم المستويات الأعلى من البنية.

- التوازن الداخلي (الاستتباب). *الغرض من معظم الفسيولوجيا الطبيعية هو الحفاظ على ظروف مستقرة داخل الجسم.* الفسيولوجيا البشرية هي في الأساس مجموعة من الآليات الاستتبابية التي تنتج ظروفًا داخلية مستقرة ملائمة لوظيفة الخلايا. أي انحراف خطير عن هذه الظروف يمكن أن يكون ضارًا أو مميتًا للخلايا وبالتالي للجسم بأكمله.

- التدرجات والتدفق. *تميل المادة والطاقة إلى التدفق نزولًا على التدرجات* مثل اختلافات التركيز الكيميائي، الضغط، درجة الحرارة، والشحنة الكهربائية. هذا يفسر الكثير من حركتها في الفسيولوجيا البشرية.

طبق ما تعرفه

المهندس المعماري لويس هنري سوليفان صاغ العبارة: "الشكل يتبع الوظيفة." ماذا تعتقد أنه قصد بهذا؟ ناقش كيف يمكن تطبيق هذه الفكرة على الجسم البشري واذكر مثالًا محددًا من التشريح البشري يدعم ذلك.

لها أسماء مثل الطبقة الشفافة (*stratum lucidum*) من البشرة، الثقب الكبير (foramen magnum) في الجمجمة، و العضلة الصدرية الكبرى المذكورة أعلاه.

هذا لا يعني أنه يجب أن تكون ملمًا بقواعد اللغة اللاتينية أو اليونانية لمتابعة دراستك للتشريح. ومع ذلك، قد تنبهك هذه الأمثلة القليلة إلى بعض الأنماط التي يجب الانتباه إليها في المصطلحات التي تدرسها، ومن الناحية المثالية، ستجعل مواجهاتك مع المصطلحات التشريحية أقل إرباكًا.

1.7د النطق

النطق هو عقبة أخرى تواجه العديد من طلاب التشريح وعلم وظائف الأعضاء المبتدئين. يقدم هذا الكتاب إرشادات بسيطة للنطق pro-NUN-see-AY-shun للعديد من المصطلحات عند تقديمها لأول مرة. اقرأ مقاطع هذه الإرشادات صوتيًا وضع اللكنة على المقاطع المكتوبة بأحرف كبيرة. يمكنك أيضًا سماع نطق معظم المصطلحات التشريحية داخل برنامج Anatomy & Physiology *Revealed*®

1.7هـ أهمية التهجئة

كلمة أخيرة من النصيحة لدراستك للتشريح وعلم وظائف الأعضاء: كن دقيقًا في تهجئتك واستخدامك للمصطلحات. قد يبدو تافهًا إذا أخطأت في تهجئة *trapezius* كـ trapezium ، لكن بذلك تكون قد غيرت اسم عضلة في الظهر إلى اسم عظمة في المعصم. وبالمثل، فإن تغيير *occipitalis* إلى *occipital* أو *zygomaticus* إلى *zygomatic* يغير أسماء عضلات أخرى إلى أسماء عظام. وتغيير *malleus* إلى *malleolus* يغير اسم عظمة في الأذن الوسطى إلى اسم نتوء عظمي في الكاحل. وهناك فرق بحرف واحد فقط بين *ileum* (الجزء النهائي من الأمعاء الدقيقة) و *ilium* (جزء من عظمة الحوض)، وبين *gustation* (حاسة التذوق) و *gestation* (الحمل).

تتطلب المهن الصحية أقصى درجات الانتباه للتفاصيل والدقة—فحياة الناس قد تكون يومًا ما بين يديك. ويجب أن يمتد عادة الحرص إلى استخدامك للغة أيضًا. لقد توفي العديد من المرضى ببساطة بسبب سوء التواصل الكتابي والشفهي المأساوي في المستشفى. مقارنةً بذلك، لا يُعتبر مأساويًا إذا خصم معلمك نقطة أو نقطتين بسبب خطأ في التهجئة. يجب اعتبار ذلك درسًا مستفادًا حول أهمية الدقة.

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

21. اشرح لماذا تعتمد المصطلحات التشريحية الحديثة بشكل كبير على اليونانية واللاتينية.
22. تمييز بين الاسم المشتق من اسم شخص (eponym) والاختصار (acronym)، وشرح سبب صعوبة كلاهما في تفسير المصطلحات التشريحية.
23. قسّم كل كلمة من الكلمات التالية إلى جذورها، والبادئات، واللواحق، واذكر معانيها، متبعًا مثال كلمة gastroenterology التي تم تحليلها سابقًا: pericardium، appendectomy، subcutaneous، phonocardiogram، otorhinolaryngology. استعن بقائمة عناصر الكلمات في الملحق E للمساعدة.
24. اكتب الشكل المفرد لكل من الكلمات التالية: *pleu-* الأخاديد، التلافيف، العقد العصبية، الشقوق. اكتب صيغة الجمع لكل من التالي: الزغابة، الطنبوب، التهاب الدماغ، عنق الرحم، الفم الاصطناعي.

نظرة أعمق 1.5

التطبيق السريرى

التصوير الطبى

لقد سرّع تطوير تقنيات النظر داخل الجسم دون الحاجة إلى الجراحة الاستكشافية ا لتقدم فى مجال الطب بشكل كبير. يتم وصف بعض هذه التقنيات هنا.

التصوير الشعاعى

التصوير الشعاعى، الذى أُجرى لأول مرة فى عام 1895، هو عملية تصوير الهياكل ا لداخلية بالأشعة السينية)الشكل 1.11أ(. حتى ستينيات القرن العشرين، كان هذا هو الطريقة الوحيدة المتاحة على نطاق واسع للتصوير؛ وحتى اليوم، يشكل أكثر م ن 50% من جميع التصويرات السريرية. تمر الأشعة السينية عبر الأنسجة الرخوة ل لجسم إلى فيلم فوتوغرافى أو كاشف على الجانب الآخر، حيث تنتج صورًا داكنة ن سبيًا. ومع ذلك، يتم امتصاصها بواسطة المواد الكثيفة مثل العظام، الأسنان، الأور ام، وعقيدات السل، مما يجعل الصورة أفتح فى هذه المناطق. كما ينطبق مصطل ح الأشعة السينية أيضًا على الصورة)التصوير الشعاعى(التى تُنتج بهذه الطريقة.

يُستخدم التصوير الشعاعى بشكل شائع فى طب الأسنان، تصوير الثدى، تشخيص الكسور، وفحص الصدر. يمكن رؤية الأعضاء المجوفة بوضوح عن طريق ملئها بو سط تباينى يمتص الأشعة السينية. على سبيل المثال، يُعطى كبريتات الباريوم ع ن طريق الفم لفحص المرىء، المعدة، والأمعاء الدقيقة، أو عن طريق الحقنة الشر جية لفحص الأمعاء الغليظة. من عيوب التصوير الشعاعى أن صور الأعضاء المتدا خلة قد تكون مربكة، والفروق الطفيفة فى كثافة الأنسجة لا تُكتشف بسهولة. بالإ ضافة إلى ذلك، يمكن للأشعة السينية أن تسبب طفرات تؤدى إلى السرطان وعيو ب خلقية.

لذلك، لا يمكن استخدام التصوير الشعاعى بشكل عشوائى.

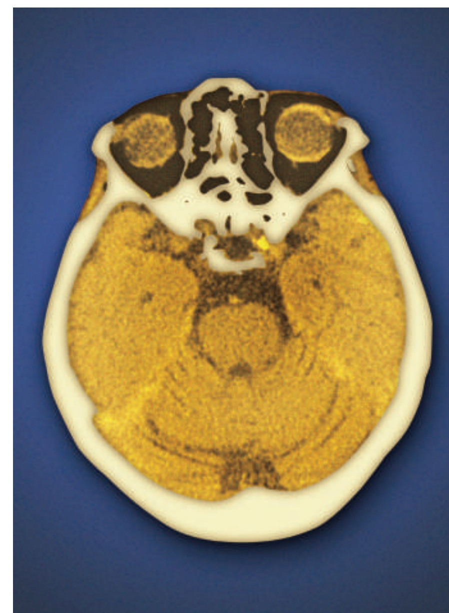
يمكن رؤية الأوعية الدموية بوضوح خاص باستخدام طريقة تصوير شعاعى تُسم ى تصوير الأوعية الطارح الرقمى)DSA( )الشكل 1.11ب(. تتضمن هذه الطريقة أخ ذ صور بالأشعة السينية قبل وبعد حقن وسط تباينى فى الوعاء الدموى.



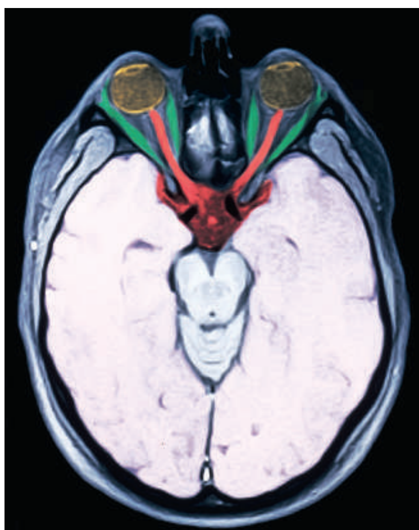
)أ(الأشعة السينية)التصوير الشعاعى(



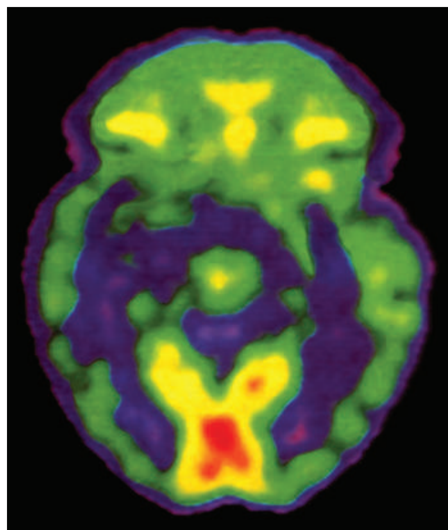
)ب(تصوير الأوعية الطارح الرقمى)DSA(



)ج(التصوير المقطعى المحوسب)CT(



)د(صورة بالرنين المغناطيسى)MRI(



)هـ(تصوير مقطعى بالإصدار البوزيترونى (PET)

الشكل 1.11 صور إشعاعية للرأس.)أ(صور ة أشعة سينية)راديغراف(للجمجمة.)ب(ت صوير الأوعية الدموية بالطرح الرقمى)DSA(للأوعية الدموية الدماغية.)ج(تصوير مقطعى محوسب)CT(على مستوى العيون.)د(تصوير بالرنين المغناطيسى)M RI(على مستوى العيون. تظهر الأع صاب البصرية باللون الأحمر والعضلات التى تح رك العيون باللون الأخضر.)هـ(تصوير PET لد ماغ مريض بالفصام غير متناول للأدوية. تشير ا لمناطق الحمراء إلى مناطق ذات معدل أي ضى مرتفع. فى هذا المريض، كان مركز الرؤ ية فى الدماغ فى مؤخرة الرأس)أسفل الصورة(نشطًا بشكل خاص أثناء التصوير.

ما هى الهياكل التى تُرى بشكل أفضل بالرنين المغناط يسى مقارنة بالأشعة السينية؟ وما هى الهياكل التى تُرى بشكل أفضل بالأشعة السينية مقارنة بتصوير PET؟

أ: U.H.B. Trust/Tony Stone Images/Getty Images; ب: pang_oasis/Shutterstock; ج: Miriam Maslo/Science Source; د: UHB Trust/Getty Images; هـ: ISM/Sovereign/ Medical Images/DIOMEDIA

— استخدام النظائر المشعة لعلاج الأمراض أو لتكوين صور تشخيصية للجسم.

عادةً ما تكون صور PET منخفضة الدقة، كما فى هذه الصورة، لكنها مع ذلك
توفر معلومات تشخيصية قيمة. فى طب القلب، يمكن لفحوصات PET إظهار مد
ى موت الأنسجة نتيجة نوبة قلبية. حيث أن الأنسجة التالفة تستهلك القليل أو لا
تستهلك الجلوكوز، تظهر هذه الأنسجة داكنة. كما تُستخدم فحوصات PET على نطا
ق واسع لتشخيص السرطان وتقييم حالة الأورام. أصبح من الممكن الآن تشخيص
مرض الزهايمر)AD(باستخدام فحوصات PET. حتى وقت قريب، كان التشخي
ص النهائى يتطلب تحليل نسيج الدماغ بعد الوفاة. يسمح فحص مرضى AD الأح
ياء باستخدام PET بالتشخيص المبكر، مما يمكن من إدارة المرض بشكل أكثر فعا
لية. تستغرق فحوصات PET التقليدية حوالى 20 دقيقة، لكن التكنولوجيا الجديدة
مكنت من إجراء فحوصات ثلاثية الأبعاد لكامل الجسم فى غضون 20 ثانية فقط،
مع تقليل التعرض للإشعاع. هذا مفيد فى فحص الأطفال الذين قد يجدون صعو
بة فى البقاء ساكنين لمدة 20 دقيقة.

التصوير بالموجات فوق الصوتية

التصوير بالموجات فوق الصوتية [20]الشكل 1.12(هو ثانى أقدم وأوسع الطرق ا
ستخدامًا فى التصوير. جهاز محمول يُضغط على الجلد ينتج موجات فوق صوتية ع
الية التردد ويتلقى الإشارات التى تنعكس من الأعضاء الداخلية. لا يُعد التصوير با
لموجات فوق الصوتية مفيدًا جدًا لفحص العظام أو الرئتين، لكنه الطريقة المفضلة
فى التوليد، حيث يمكن استخدام الصورة)السونوجرام(لتحديد موقع المشيمة و
تقييم عمر الجنين ووضعه وتطوره. كما يُستخدم التصوير بالموجات فوق الصوتية
لرؤية الأنسجة أثناء الحركة، مثل حركات الجنين، وأفعال جدار القلب والصمامات،
وضخ الدم من القلب وتدفقه عبر الشرايين والأوردة.

التصوير بالموجات فوق الصوتية للقلب النابض يُسمى تخطيط صدى القلب. ت
تجنب الموجات فوق الصوتية الآثار الضارة للأشعة السينية، كما أن المعدات غير
مكلفة وقابلة للحمل. من العيوب أن الموجات فوق الصوتية لا تستطيع اختراق الع
ظام وعادةً لا تنتج صورة واضحة جدًا.



)أ(



)ب(

الشكل 1.12 تصوير الجنين بالموجات فوق الصوتية.)أ(إنتاج صورة صوتية.
)ب(صورة ثلاثية الأبعاد للجنين بالموجات فوق الصوتية فى الأسبوع 30 من الحمل.
أ: كيفن بروفيسكى/فوتوديسك/صور غيتى؛ ب: ميشيل ساكو

يقوم الحاسوب بعد ذلك "بمحو" الصورة الأولى من الثانية، تاركًا صورة واضحة وم
طلمة للفقط الأوعية الدموية المحقونة دون الأنسجة المحيطة والمتراكبة. هذا مفى
د لعرض انسدادات الأوعية الدموية والتشوهات التشريحية، والاختلالات فى تدفق
الدماغ، وتضيق)تضيق(الشرايين الكلوية، وكوسيلة مساعدة فى تمرير القساطر د
اخل الأوعية الدموية. ومع ذلك، يتم استبدال DSA بالفعل فى العديد من العيادات
بطرق أحدث أقل توغلاً وتتجنب استخدام وسط التباين والتعرض للإشعاع.

التصوير المقطعى المحوسب

التصوير المقطعى المحوسب [19]فحص CT( )الشكل 1.11ج(هو تطبيق أكثر تطو
رًا للأشعة السينية. يتم تحريك المريض عبر جهاز على شكل حلقة يصدر أشعة سى
نية منخفضة الشدة من جانب واحد ويستقبلها كاشف فى الجانب المقابل. يقوم ا
لكمبيوتر بتحليل الإشارات من الكاشف وينتج صورة لـ "شريحة" من الجسم رقيقة
تقريبًا مثل قطعة نقدية. ميزة هذه الشرائح الرقيقة هى قلة تداخل الأعضاء، مما
يجعل الصورة أكثر وضوحًا بكثير من الأشعة السينية التقليدية. يتطلب تفسير ال
صور معرفة واسعة بالتشريح المقطعى العرضى. يُستخدم التصوير المقطعى المح
وسب لتحديد الأورام، تمدد الأوعية الدموية، النزيف الدماغى، حصى الكلى، وغيره
ا من الشذوذات.

التصوير بالرنين المغناطيسى

التصوير بالرنين المغناطيسى)MRI( )الشكل 1.11د(أفضل من التصوير المقطع
ى المحوسب)CT(فى تصوير بعض الأنسجة الرخوة. يستلقى المريض إما فى أن
بوب أو فى جهاز تصوير مفتوح من الجوانب محاط بمغناطيس كهربائى قوى. تتما
شى ذرات الهيدروجين فى أنسجة المريض بالتناوب مع هذا المجال المغناطيسى
ومع مجال الترددات الراديوية الذى يشغله ويوقفه الفنى. تولد هذه التغيرات فى م
حاذاة الهيدروجين إشارات يتم تحليلها بواسطة الحاسوب لإنتاج صورة تشريحية.
يمكن لـ MRI "رؤية" واضحة من خلال الجمجمة والعمود الفقرى لإنتاج صور للنس
يج العصبى بداخله، وهو أفضل من CT فى التمييز بين الأنسجة الرخوة مثل المادة
البيضاء والرمادية فى الدماغ. كما يتجنب MRI التعرض للأشعة السينية ومخاطره
ا.

ومع ذلك، فإن MRI له عيوب مثل الشعور بالرهاب من الأماكن المغلقة الذى
يعانى منه بعض المرضى داخل الجهاز، والضوضاء العالية التى يصدرها الجهاز، وأو
قات التعرض الطويلة التى تمنع الحصول على صور واضحة للمعدة والأمعاء التى
تتحرك باستمرار. يتطلب الأمر من المريض أن يبقى ساكنًا فى الفضاء المغلق لمد
ة تصل إلى 45 دقيقة لمسح منطقة واحدة من الجسم، وقد يستغرق الأمر 90 دق
يقة لمسح مناطق متعددة مثل تجويفى البطن والحوض. يجد بعض المرضى أنهم
لا يستطيعون تحمل ذلك. يفضل بعض المرضى الذين يعانون من رهاب الأماكن ا
لمغلقة أو السمنة أجهزة MRI المفتوحة من الجوانب، لكنها تمتلك مجالات مغنا
طيسية أضعف، وتنتج صورًا أقل جودة، وقد تفوت تشوهات نسيجية مهمة.

التصوير بالرنين المغناطيسى الوظيفى)fMRI(هو نوع من التصوير يُظهر التغيرا
ت اللحظية فى وظيفة الأنسجة. على سبيل المثال، تُظهر فحوصات fMRI للدماغ أنم
اط نشاط متغيرة بينما يطبق الدماغ نفسه على مهمة حسية أو ذهنية أو حركية محدد
ة. لقد حل fMRI مؤخرًا محل التصوير المقطعى بالإصدار البوزيترونى)PET(كأهم طر
يقة لتصوير وظيفة الدماغ. يتم مناقشة استخدام fMRI فى تصوير الدماغ بشكل أعم
ق فى القسم 14.5 من "رؤية أعمق".

التصوير المقطعى بالإصدار البوزيترونى

التصوير المقطعى بالإصدار البوزيترونى)فحص PET( )الشكل 1.11هـ(يُستخدم
لتقييم الحالة الأيضية للنسيج وتمييز الأنسجة الأكثر نشاطًا فى لحظة معينة. تبدأ
العملية بحقن جلوكوز مشع موسوم، يصدر بوزيترونات)جسيمات شبيهة بالإلكترو
نات ذات شحنة موجبة(. عندما يلتقى البوزيترون بالإلكترون، يتلاشان معًا ويصدرا
ن زوجًا من أشعة غاما التى يمكن اكتشافها بواسطة أجهزة استشعار وتحليلها بوا
سطة الحاسوب. يعرض الحاسوب صورة ملونة تُظهر الأنسجة التى كانت تستخدم
أكبر كمية من الجلوكوز فى تلك اللحظة. هذا مثال على الطب النووى

[19] *تومو* = مقطع، قطع، شريحة؛ *جرافى* = عملية التسجيل
[20] *سونو* = صوت؛ *جرافى* = عملية التسجيل

STUDY GUIDE

قيّم نتائج تعلمك

الافتراضات التى تقوم عليها القيم النموذجية المعطاة فى الكتب الدراسية

5. معنى *التوازن الداخلى (هوميوستاسيس)*؛ أهميته للبقاء على قيد الحياة؛ والأصل التاريخى لهذا المفهوم
6. كيف يساهم التغذية الراجعة السلبية فى التوازن الداخلى؛ معنى *حلقة التغذية الراجعة السلبية*؛ كيف يشارك المستقبل، ومركز التكامل، والمُنفذ فى العديد من حلقات التغذية الراجعة السلبية؛ ومثال واحد على الأقل لمثل هذه الحلقة
7. كيف يختلف التغذية الراجعة الإيجابية عن التغذية الراجعة السلبية؛ أمثلة على الحالات المفيدة والضارة للتغذية الراجعة الإيجابية
8. مفهوم تدفق المادة والطاقة باتجاه التدرجات وكيف ينطبق ذلك على مناطق مختلفة من فسيولوجيا الإنسان

1.7 لغة الطب

1. أصل وهدف *Terminologia Anatomica (TA)* وأهميته لطلاب التشريح
2. كيفية تقسيم المصطلحات الطبية الحيوية إلى جذور، بادئات، ولاحقات مألوفة، ولماذا ى ساعد هذا العادة فى التعلم
3. الاختصارات والأسماء المشتقة من أسماء أشخاص، ولماذا لا يمكن فهمها بمحاولة تحليل جذورها
4. كيفية التعرف على متى تكون كلمتان أو أكثر صيغة مفردة وجمع لكلمة واحدة؛ متى تكون كلمة واحدة صيغة ملكية لكلمة أخرى؛ ومتى تمثل المصطلحات الطبية المبنية على نفس الجذر درجات مختلفة من المقارنة (مثل المصطلحات التى تدل على *كبير، أكبر، و الأكبر*)
5. لماذا يمكن أن تكون الدقة فى التهجئة واستخدام المصطلحات الطبية مسألة حياة أو موت فى المستشفى أو العيادة، وكيف يمكن لأخطاء التهجئة التى تبدو تافهة أن تغير المعنى بشكل جذرى

1.8 مراجعة المواضيع الرئيسية

1. وصف لستة مواضيع أساسية فى هذا الكتاب: وحدة الشكل والوظيفة، نظرية الخلية، التطور، تسلسل التعقيد، التوازن الداخلى، والتدرجات والتدفق

5. التمييزات بين الحقائق العلمية، القوانين، والنظريات؛ غرض النظرية؛ وكيف تختلف المعانى العلمية لـ القانون و النظرية عن المعانى الشائعة بين العامة

1.4 أصول الإنسان والتكيفات

1. *معانى التطور، الانتقاء الطبيعى، ضغط الانتقاء، و التكيف مع أمثلة على كل منها*
2. الأصل التاريخى لنظرية الانتقاء الطبيعى وكيف ترتبط هذه النظرية بفهم كامل لتشريح ووظائف الإنسان
3. كيف يرتبط القرابة بين جميع الأنواع باختيار الحيوانات النموذجية للأبحاث الطبية الحيوية
4. الظروف البيئية التى يُعتقد أنها اختارت مثل هذه الخصائص الرئيسية لـ *هومو سابينس* مثل الإبهام المعاكس، حركة الكتف، الأيدى القابضة، الرؤية المجسمة، رؤية الألوان، والمشى على قدمين
5. معنى *الطب التطورى*

1.5 الهيكل البشرى

1. مستويات تعقيد الهيكل البشرى من الكائن الحى إلى الذرة
2. التجزئة والتكامل؛ كيف يختلفان ولماذا فكرتا كلاهما مهمتان لدراسة تشريح ووظائف الإنسان وللعناية السريرية بالمرضى
3. أمثلة على سبب عدم صحة التشريح المعروض فى الكتب الدراسية بالضرورة لكل فرد

1.6 الوظيفة البشرية

1. ثمانى صفات أساسية تميز الكائنات الحية عن غير الحية
2. معنى *الأيض*
3. المعايير السريرية للحياة والموت، ولماذا الموت السريرى والبيولوجى ليسا متكافئين تماماً
4. الأهمية السريرية للتفاوت الفسيولوجى بين الناس، و

لاختبار معرفتك، ناقش المواضيع التالية مع شريك دراسى أو كتابة، ويفضل أن يكون ذلك من الذاكرة.

1.1 نطاق التشريح وعلم وظائف الأعضاء

1. معانى *التشريح* و *الفسيولوجيا* وماذا يعنى القول إن هذين العلمين مكملان ولا ينفصلان
2. طرق الدراسة فى التشريح والفحص السريرى
3. فروع التشريح التى تدرس الجسم على مستويات مختلفة من التفاصيل
4. كيف يعزز علم وظائف الأعضاء المقارن فهم وظيفة الإنسان

1.2 أصول العلوم الطبية الحيوية

1. العلماء اليونانيون والرومان الذين وضعوا الطب على أساس علمى لأول مرة
2. الطرق التى كان فيها عمل ميمونيدس، ابن سينا، فيزاليوس، وهارفى ثورياً فى سياق زمانهم وثقافتهم
3. لماذا يدين العلم الطبى اليوم بفضل كبير لهوك، ليفينهوك، ومخترعين آخرين
4. كيف أحدث شلايدن وشوان ثورة ووحّدوا فهم البنية البيولوجية، بما فى ذلك التشريح وعلم وظائف الأعضاء البشريين

1.3 المنهج العلمى

1. الصفات الأساسية للمنهج العلمى
2. طبيعة الطرق الاستقرائية والافتراضية-الاستنتاجية، كيف تختلف، وأى مجالات العلوم الطبية الحيوية تستخدم كل طريقة بشكل أكبر
3. صفات الفرضية العلمية الصالحة، وطيفة الفرضية، وما المقصود بـ *القابلية للتفنيد* فى العلم
4. كيف يساهم كل من التالى فى موثوقية استنتاجات الباحث العلمية والثقة التى قد يضعها الجمهور فى العلم: حجم العينة، مجموعات التحكم، طريقة التعمية المزدوجة، الاختبارات الإحصائية، ومراجعة الأقران

دراسة دليل

اختبار استدعائك

الإجابات فى الملحق أ

1. التركيب الذى يمكن ملاحظته بالعين الم جردة يُسمى
أ. التشريح الكلى.
ب. البنية الفوقية.
ج. التشريح المجهرى.
د. علم الأنسجة.
هـ. علم الخلايا.

2. بادئة الكلمة *homeo* تعنى
أ. النسيج.
ب. الأيض.
ج. التغيير.
د. البشرى.
هـ. نفسه.

3. أبسط الهياكل التى تُعتبر حية هى
أ. الكائنات الحية.
ب. الأعضاء.
ج. الأنسجة.
د. الخلايا.
هـ. العُضيّات.

4. من من الأشخاص التاليين أحدث ثورة فى تعليم التشريح الكلى؟
أ. فيساليوس
ب. أرسطو
ج. هيبوقراط
د. ليفنهوك
هـ. كانون

5. أى مما يلى يجسد أكبر قدر من المعلومات الع لمية؟
أ. حقيقة
ب. قانون طبيعى
ج. نظرية
د. استنتاج
هـ. فرضية

6. تخمين مستنير وغير مؤكد ولكنه قابل للاختبار هو
أ. قانون طبيعى.
ب. نظرية علمية.
ج. فرضية.
د. استنتاج.
هـ. حقيقة علمية.

7. سلسلة متعاطمة من الأحداث الفسيولوج ية تُسمى
أ. التغذية الراجعة الإيجابية.
ب. التغذية الراجعة السلبية.
ج. الثبات الديناميكى.
د. التوازن الداخلى (الاستتباب).
هـ. الأيض.

8. أى من الأنظمة التالية *ليس* نظامًا عضويًا بشريًا؟
أ. الجهاز الجلدى (الجلد).
ب. الجهاز العضلى.
ج. الطهارى.
د. الجهاز العصبى.
هـ. الغدد الصماء.

9. يعنى دراسة التشريح عن طريق اللمس. ______
أ. التشريح الكلى
ب. الاستماع (السمع الطبى)
ج. التقبيل (التقابل)
د. اللمس
هـ. الطرق (القرع)

10. البادئة *hetero* تعنى
أ. نفسه.
ب. مختلف.
ج. كلاهما.
د. صلب.
هـ. أسفل.

11. قطع وفصل الأنسجة لكشف العلاقات الهيكلية يُسمى ______.

12. فرق فى تركيز المادة الكيميائية بين نقطة وأخرى يُسمى ______ تركيز.

13. ، طبى ______ من خلال عملية يتنبأ الباحث بالنتيجة التى ستظهر فى تجربة معينة إذا كانت فرضيته صحيحة.

14. التأثيرات الفسيولوجية للحالة الذهنية للشخ ص تُسمى ______ التأثيرات.

15. ميل الجسم للحفاظ على ظروف داخلية مستقر ة يُسمى ______.

16. متوسط درجة حموضة الدم هو 7.4 لكنه يتقلب بين 7.35 و7.45. لذلك يمكن اعتبار درجة الحمو ضة 7.4 هى ______ القيمة المرجعية لهذا المتغير.

17. الآليات التصحيحية الذاتية فى الفسيولوجيا تُسمى ______ الحلقات.

18. هو أبسط تركيب للجسم ______ أ/أن يتكون من نوعين أو أكثر من الأنسجة.

19. الإدراك العميق، أو القدرة على تكوين صو ر ثلاثية الأبعاد، يُسمى أيضًا الرؤية . ______

20. لأن ______ يُقال إن أيدينا يمكنهم إحاطة جسم مثل فرع أو أداة. وجود ______ الإبهام هو مهم لهذه القدرة.

بناء مفرداتك الطبية

الإجابات فى الملحق أ

اذكر معنى كل عنصر من عناصر الكلمة، وقدم مصطلحًا طبيًا من هذا الفصل يستخدمه أو تغييرًا طفيفًا له.

1. auscult-
2. dis-
3. homeo-
4. metabolo-
5. palp-
6. physio-
7. -sect
8. ستاسيس-
9. ستيريو-
10. تومو-

STUDY GUIDE

ما الخطأ في هذه العبارات؟

الإجابات في الملحق أ

اشرح بإيجاز لماذا كل من العبارات التالية خاطئة، أو أعد صياغتها لتصبح صحيحة.

1. تقنية أخذ نبض المريض عند المعصم هي الاستماع (auscultation).
2. إجراء فحص الرنين المغناطيسي (MRI) لسيدة حامل قد يعرض جنينها للإشعاع الذي يمكن أن يسبب طفرات وعيوب خلقية.
3. عادةً ما نعتمد على التغذية الراجعة الإيجابية لاستعادة التوازن الداخلي (homeostatic) ولها تأثير مفيد على الجسم.
4. هناك خلايا أكثر بكثير من العضيات في الجسم.
5. المادة لا تتحرك عمومًا نزولًا على التدرج في الجسم إلا إذا بذل الجسم طاقة أيضية لتحريكها.
6. كان ليونهوك عالم أحياء اخترع المجهر البسيط لفحص الكائنات الحية في مياه البحيرة.
7. النظرية العلمية ليست سوى تخمين حتى يجد شخص ما الدليل لإثباتها.
8. في دراسة بحثية سريرية نموذجية، يكون المرضى المتطوعون في مجموعة العلاج، ويشكل الأطباء والعلماء الذين يديرون الدراسة مجموعة التحكم.
9. التطور البشري هو في الأساس نظرية تقول إن البشر جاءوا من القرود.
10. عادةً ما يكون للتغذية الراجعة السلبية تأثير سلبي (ضار) على الجسم.

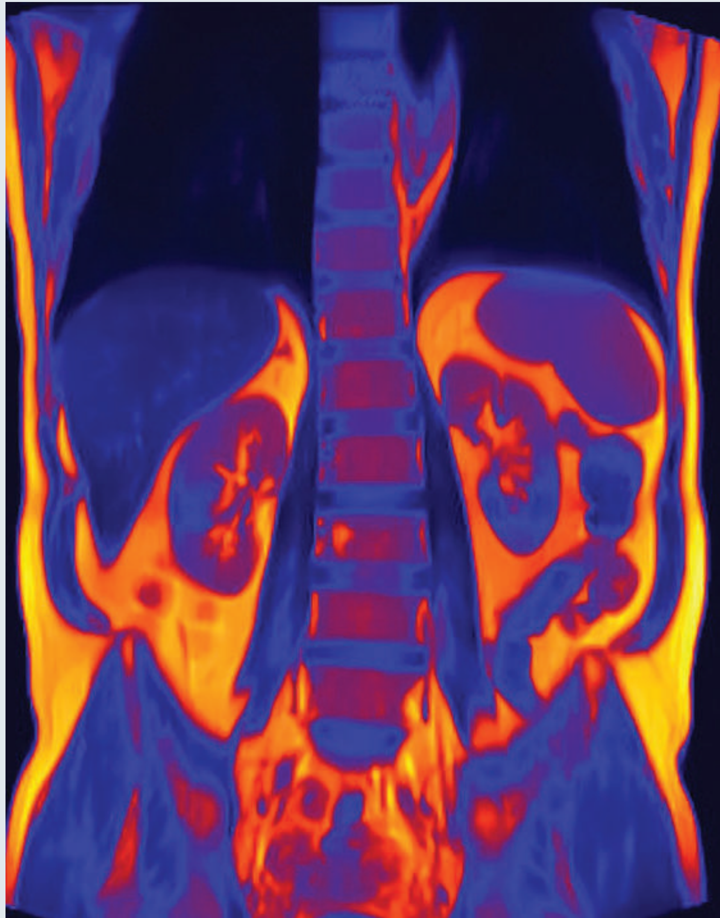
اختبار فهمك

1. إلين حامل وتخبر جانيت، إحدى زميلاتها في العمل، بأنها مجدولة لإجراء تصوير بالموجات فوق الصوتية للجنين. تعبر جانيت عن قلقها وتحذر إلين من خطر تعريض الجنين للأشعة السينية. ناقش لماذا تعتقد أن قلق جانيت مبرر أو غير مبرر.
2. أي من خصائص الكائنات الحية يمتلكها السيارة؟ وما هو تأثير ذلك على تعريفنا للحياة؟
3. حوالي واحد من كل 120 مولودًا حيًا يعاني من عيب هيكلي في القلب مثل وجود ثقب بين حجرتين من القلب. غالبًا ما يعاني هؤلاء الأطفال من احتقان رئوي وفشل قلبي، ويموت حوالي ثلثهم نتيجة لذلك. أي من الموضوعات الرئيسية في هذا الفصل يوضحها هذا؟ اشرح إجابتك.
4. كيف قد يكون تشريح الإنسان مختلفًا اليوم لو لم يكن أسلاف البشر قد عاشوا في قمة الغابة؟
5. افترض أنك كنت تقوم بأعمال حديقة شاقة في يوم حار وتتعرق بغزارة. تصبح عطشانًا جدًا، فتشرب كوبًا طويلًا من عصير الليمون. اشرح كيف يرتبط عطشك بمفهوم التوازن الداخلي (الاستتباب). أي نوع من التغذية الراجعة—الإيجابية أم السلبية—يوضح هذا؟

الأطلس

أ

التوجيه العام لتشريح الإنسان



Colorized MRI, anterior view from thoracic to pelvic region

PhotoStock-Israel/Alamy Stock Photo

رؤى أعمق

مخطط الأطلس



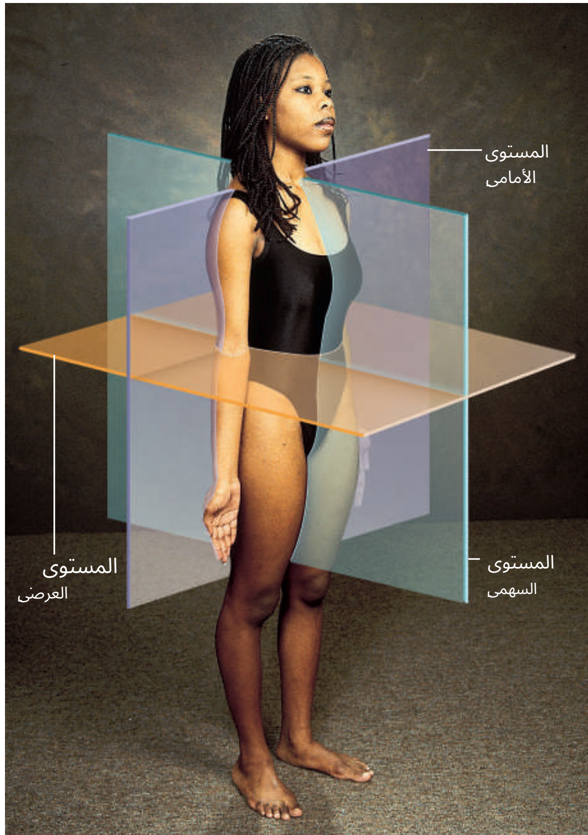
الوحدة 1: توجيه الجسم

المصطلحات التشريحية العامة 1.أ

1.أأ الوضع التشريحي

عند وصف جسم الإنسان، يفترض علماء التشريح أنه في الوضع التشريحي)الشكل A.1(—أي واقفًا منتصبًا مع القدمين مسطحتين على الأرض، والذراعين على الجانبين، وكفوف اليدين والوجه متجهين إلى الأمام. بدون مثل هذا الإطار المرجعي، فإن القول بأن هيكلًا مثل القص، أو الغدة الدرقية، أو الشريان الأورطي "فوق القلب" سيكون غامضًا، لأنه يعتمد على ما إذا كان الشخص واقفًا، أو مستلقيًا على بطنه)مستلقٍ على البطن(، أو مستلقيًا على ظهره)مستلقٍ على الظهر(. من منظور الوضع التشريحي، مع ذلك، يمكننا وصف الغدة الدرقية بأنها فوق القلب، والقص بأنها أمامه، والشريان الأورطي بأنه خلفه. تظل هذه الأوصاف صحيحة بغض النظر عن وضع الشخص. حتى إذا كان الجسم مستلقيًا، مثل جثة على طاولة التشريح، فإن القول بأن القص أمام القلب يدعو المشاهد لتخيل أن الجسم واقف في الوضع التشريحي، وليس أن يقال إنه "فوق القلب" لمجرد أن الجسم مستلقٍ بهذه الطريقة.

ما لم يُذكر خلاف ذلك، افترض أن جميع الأوصاف التشريحية تشير إلى الوضع التشريحي. ضع في اعتبارك أنه إذا كان الشخص يواجهك، فإن الجانب الأيسر للشخص يكون على يمينك والعكس صحيح. في معظم الرسوم التوضيحية التشريحية، على سبيل المثال، الأذين الأيسر لـ يظهر القلب نحو الجانب الأيمن من الصفحة، وعلى الرغم من أن الزائدة الدودية تقع في الربع السفلي الأيمن من البطن، إلا أنها تظهر على الجانب الأيسر في معظم الرسوم التوضيحية.



الشكل A.1 الوضع التشريحي والمستويات التشريحية الثلاثة الأساسية.

جو ديغرانديس/كين سالادين

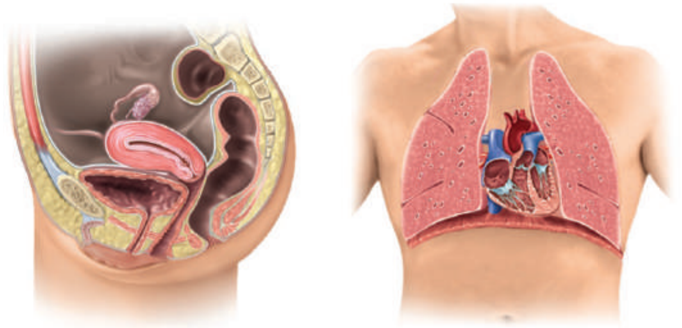
1.أب المستويات التشريحية

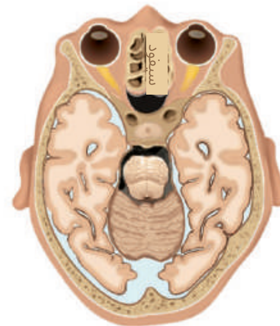
تعتمد العديد من وجهات النظر للجسم على "شرائح" حقيقية أو خيالية تُسمى مقاطع أو مستويات. يشير مصطلح *المقطع* إلى قطع أو شريحة فعلية لكشف التشريح الداخلي، في حين يشير *المستوى* إلى سطح مستوٍ خيالي يمر عبر الجسم. المستويات التشريحية الثلاثة الأساسية هي *السهمي*، *الجبهي*، و *العرضي*)الشكل A.1(.

المستوى السهمي[1])SADJ-ih-tul(يمر عمودياً عبر الجسم أو العضو ويقسمه إلى أجزاء يمينية ويسارية)الشكل A.2a(. المستوى السهمي الذي يقسم الجسم أو العضو إلى نصفين متساويين يُسمى أيضاً المستوى المتوسط)المستوى السهمي الأوسط(. تُصوّر عادةً الرأس وأعضاء الحوض على المستوى المتوسط. المستويات السهمية الأخرى الموازية لهذا)غير المركزية(تقسم الجسم إلى أجزاء غير متساوية. تُسمى هذه المستويات أحياناً المستويات السهمية الجانبية[2].

مستوى أمامي)تاجي(يمتد أيضًا عموديًا، لكنه عمودي على المستوى السهمي ويقسم الجسم إلى أجزاء أمامية)أمامية(وخلفية)خلفية( )الشكل A.2b(. مقطع أمامي

1 ساجيتا = سهم
2 بارا = بجانب





الشكل A.2 مقاطع الجسم المقطوعة على طول المستويات التشريحية الثلاثة الأساسية.)أ(مقطع سهمي لمنطقة الحوض.)ب(مقطع أمامي لمنطقة الصدر.)ح(مقطع عرضي للرأس عند مستوى العيون.

الجدول أ.1	APR المصطلحات الاتجاهية فى تشريح الإنسان	
المصطلح	المعنى	أمثلة على الاستخدام
البطنى الظهرى	نحو الأمام* أو البطن نحو الخلف أو العمود الفقرى	الشريان الأورطى يقع بطنيًا بالنسبة للعمود الفقرى. العمود الفقرى يقع ظهريًا بالنسبة للشريان الأورطى.
الأمامى الخلفى	نحو الجانب البطينى* نحو الجانب الظهرى*	العظم القصى أمام القلب. المرىء خلف القصبة الهوائية.
الرأسى الأنفى الذنب	نحو الرأس أو الطرف العلوى نحو الجبهة أو الأنف نحو الذيل أو الطرف السفلى	يتطور الدماغ من الطرف الرأسى لأنبوب الأعصاب. المخ الأمامى أمام جذع الدماغ. الحبل الشوكى خلف الدماغ.
أعلى أسفل	فوق تحت	القلب أعلى من الحجاب الحاجز. الكبد يقع أسفل الحجاب الحاجز.
وسيط جانبى	نحو المستوى الوسيط بعيد عن المستوى الوسيط	القلب وسيط بالنسبة للرئتين. العيون جانبية بالنسبة للأنف.
قريب بعيد	أقرب إلى نقطة الارتباط أو الأصل أبعد عن نقطة الارتباط أو الأصل	الكوع قريب من المعصم. الأظافر تقع فى الأطراف البعيدة للأصابع.
نفس الجانب الجانب المقابل	على نفس جانب الجسم)يمين أو يسار(على جانبى الجسم المتقابلين)يمين ويسار(	الكبد على نفس جانب الزائدة الدودية. الطحال على الجانب المقابل للكبد.
سطحى عميق	أقرب إلى سطح الجسم أبعد عن سطح الجسم	الجلد سطحى بالنسبة للعضلات. العظام عميقة بالنسبة للعضلات.

*فى البشر فقط؛ التعريف يختلف بالنسبة للحيوانات الأخرى.

نظرًا لوضعية الإنسان القائمة على قدمين، فإن بعض مصطلحا ت الاتجاه لها معانٍ مختلفة للبشر عنها فى الحيوانات الأخرى. على سبيل المثال، أمامى يدل على المنطقة من الجسم التى تتقدم فى ا لحركة الطبيعية. بالنسبة لحيوان رباعى الأرجل مثل القطة، هذا هو نها ية الرأس من الجسم؛ أما بالنسبة للإنسان، فهو أمام الصدر والبطن. و بالتالى، أمامى له نفس معنى بطنى بالنسبة للإنسان ولكن ليس لل قطة. خلفى يدل على المنطقة من الجسم التى تأتى فى النهاية فى ا لحركة الطبيعية—نهاية الذيل للقطة ولكن الجانب الظهرى)الظهر(للإ نسان. فى تشريح معظم الحيوانات الأخرى، بطنى يدل على سطح ال جسم الأقرب إلى الأرض و ظهرى يدل على السطح الأبعد عن الأرض . هذان الكلمتان متجذرتان جدًا فى تشريح الإنسان بحيث لا يمكن تجا هلهما تمامًا، لكننا سنقلل من استخدامهما فى هذا الكتاب لتجنب الا لتباس.

يجب أن تضع فى اعتبارك هذه الاختلافات، مع ذلك، عند تشريح حيوانات أخرى للمقارنة مع تشريح الإنسان.

مشتق من مصطلح *ظهرى* هو *الظهر* ، يُستخدم للدلالة على السطح العلوى للقدم وظهر اليد. إذا اعتبرت كيف تقف القطة، فإن الأسطح المقابلة لمخالبها هى الأعلى،

مواجهة نفس اتجاه الجانب الظهرى لجذعها. على الرغم من أن هذه الأسطح لليد والقدم البشرية تواجه اتجاهات مختلفة تمامًا

فى الوضع التشريحى، إلا أن مصطلح *الظهر* لا يزال يُستخدم.

المناطق الرئيسية للجسم أ.2

معرفة التشريح الخارجى والمعالم الجسمانية مهمة فى إجراء الفحص البدنى والعديد من الإجراءات السريرية الأخرى. لأغراض الدراسة، يُق سم الجسم إلى منطقتين رئيسيتين تُسمى *المحورية* و *الطرفية* .

تُوصف المناطق الأصغر داخل المناطق الرئيسية فى الفقرات التالية وتُوضح فى الشكل A.3.

على سبيل المثال، يقسم الرأس إلى جزء يحمل الوجه وجزء آخر يحمل مؤخرة الرأس. عادةً ما تُعرض محتويات تجاويف الصدر والبطن كمقا طع أمامية.

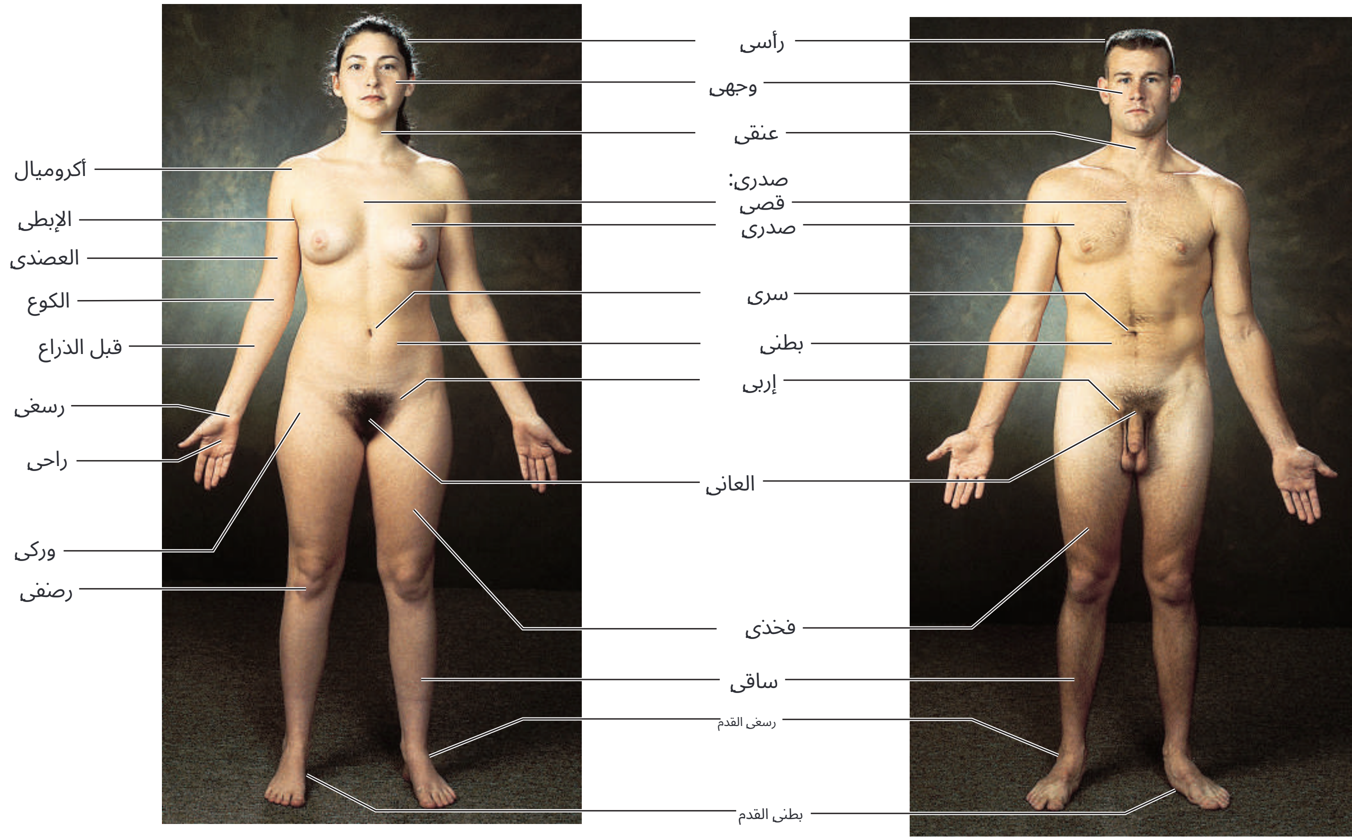
يمر مستوى عرضى)أفقى(عبر الجسم أو عضو عموديًا على محوره الطولى؛ يقسم الجسم أو العضو إلى أجزاء علوية)فوقية(وسفلية)تحتية( )الشكل A.2ح(.
عادةً ما تكون صور الأشعة المقطعية مقاطع عرضية)انظر الشكل 1.11ح(.

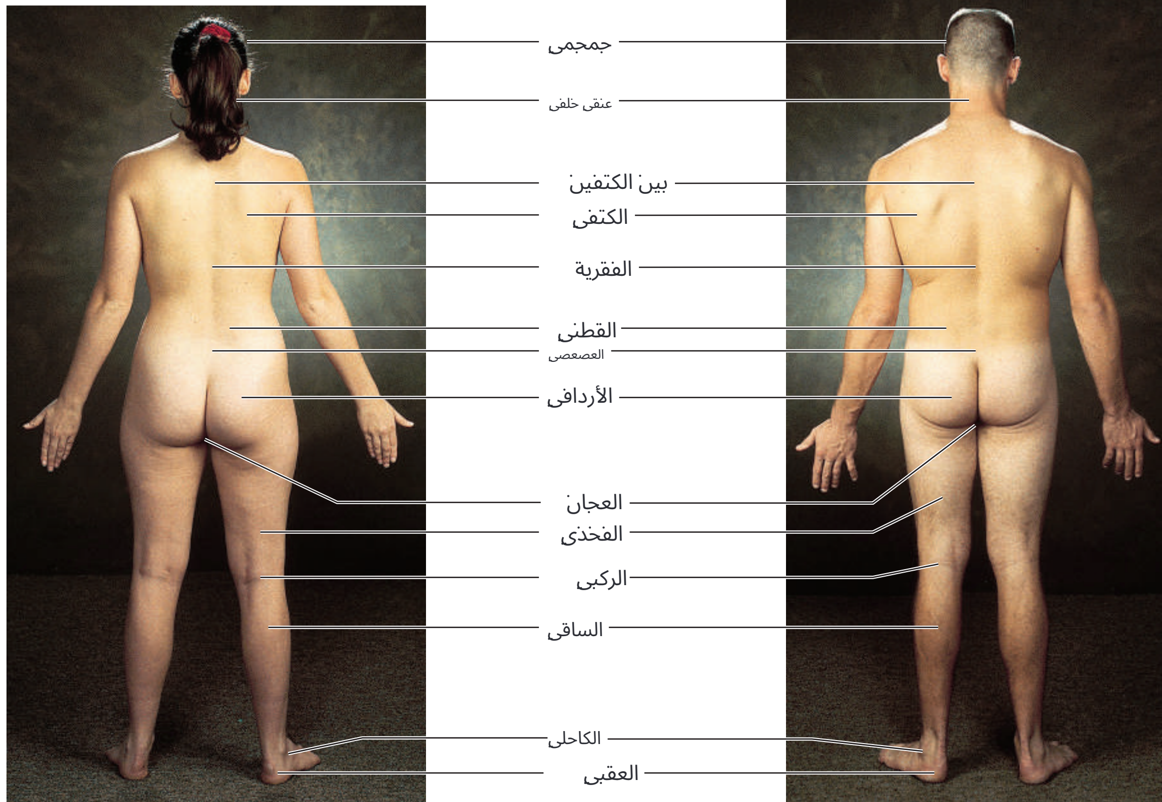
A.1ح المصطلحات الاتجاهية

الكلمات التى تصف موقع تركيب ما بالنسبة لتركيب آخر تُسمى م صطلحات الاتجاه فى التشريح. الجدول A.1 يلخص أكثرها استخداماً ا. معظم هذه المصطلحات توجد فى أزواج ذات معانٍ متعاكسة: *أمام ى* مقابل *خلفى*، *أنفى مقابل ذيلانى*، *علوى* مقابل *سفلى*، *وسطى* مقابل *جانبى*، *قريب مقابل بعيد*، *على نفس الجانب* مقابل *على ال جانب المقابل*، و *سطحى* مقابل *عميق*. غالبًا ما تُشير الاتجاهات الم توسطة إلى مزيج من هذه المصطلحات. على سبيل المثال، يمكن و صف الخدين بأنهما *سفلى جانبى* بالنسبة للعينين)أسفل وإلى الجان ب(.

تُستخدم مصطلحات *قريب* و *بعيد* بشكل خاص فى تشريح الأطراف، حيث يُستخدم *قريب* للدلالة على شىء بالقرب النسبى من نقطة اتصال الطرف)الكتف أو الورك(و *بعيد* للدلالة على شىء أبعد. هذه المصطلحات لها بعض التطبيقات فى تشريح الجذع أيضًا—
على سبيل المثال، عند الإشارة إلى جوانب معينة من الأمعاء و التشريح المجهرى للكلى. ولكن عند وصف
الجذع والإشارة إلى تركيب يقع فوق أو تحت تركيب آخر،
فإن مصطلحات علوى و سفلى هى المفضلة. هذه المصطلحات عادةً لا تُستخدم للأطراف. على الرغم من أنها قد تكون صحيحة تقنيًا، إلا أنه لا يُقال عمومًا إن المرفق

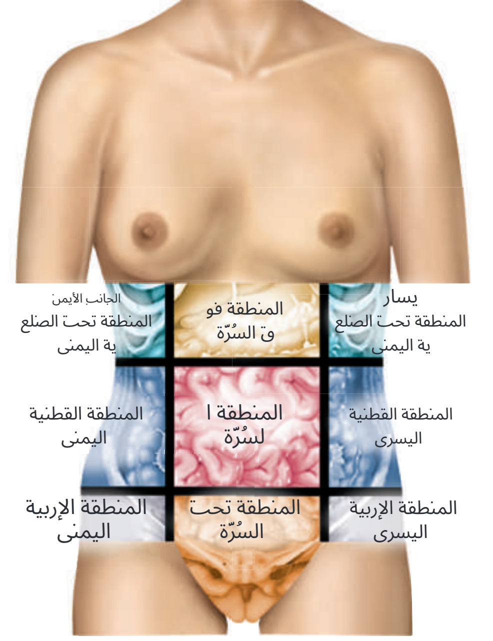
علوى على المعصم، بل يُقال قريب منه.





الشكل A.3 مناطق جسم الأنثى والذكر البالغ.)أ(أنثى، من الأمام.)ب(ذكر، من الأمام.)ح(أنثى، من الخلف.)د(ذكر، من الخلف.

أ–د: جو ديغرانديس/كين سالادين



)ب(مناطق البطن والحوض



)أ(أرباع البطن والحوض

الشكل A.4 الأرباع الأربعة والتسع مناطق للبطن.
)أ(التقسيم الخارجى إلى أربعة أرباع.
)ب(التقسيم الخارجى إلى تسع مناطق.

APR

فى أى ربع عادةً ما يشعر بألم التهاب ا لزائدة الدودية

أ.2ب المنطقة الطرفية

تتكون المنطقة الطرفية للجسم من الأطراف العلوية والسفلية (وتسمى أيضًا الزوائد أو الأطراف(. تشمل الطرف العلوى الذراع (المنطقة العضدية(، الساعد)المنطقة قبل العضدية(، الرسغ)الم نطقة الرسغية(، اليد، والأصابع)الأصابع(. تشمل الطرف السفل ى الفخذ)المنطقة الفخذية(، الساق)المنطقة الساقية(، الكاحل)المنطقة الكاحلية(، القدم، وأصابع القدم)الأصابع(.

بالمصطلحات التشريحية الدقيقة، يشير مصطلح الذراع فقط إلى الجزء من الطرف العلوى بين الكتف والمرفق. ويشير مصطلح الساق فقط إلى الجزء من الطرف السفلى بين الركبة والكاحل.
القطاع هو منطقة بين مفصل وآخر. على سبيل المثال، الذراع ه ى القطاع بين الكتف والمرفق، والساعد هو القطاع بين المرفق والر سغ. عند ثنى أصابعك، يمكنك بسهولة رؤية أن الإبهام يحتوى على ق طاعين)قريب وبعيد(، فى حين أن الأصابع الأربعة الأخرى تحتوى على ثلاثة قطاعات)قريب، متوسط، وبعيد(. يُعد مفهوم القطاع مفيدًا ب شكل خاص فى وصف مواقع العظام والعضلات وحركات المفاصل.

تجاويف الجسم والأغشية أ.3

جدار الجسم يحوى عدة تجاويف جسمية)الشكل A.5، الجدول A.2(، كل منها مبطن بغشاء ويحتوى على أعضاء داخلية تسمى الأحشاء) VISS-er-uh( )مفردها، *الحشاء*[10](. بعض هذه الأغشية مكونة من ط بقتين، إحداهما تلامس سطح العضو)مثل القلب أو الرئة(والأخرى تلامس بنية محيطة)مشكلة، على سبيل المثال، البطانة الداخلية لق فص الأضلاع(؛ هناك

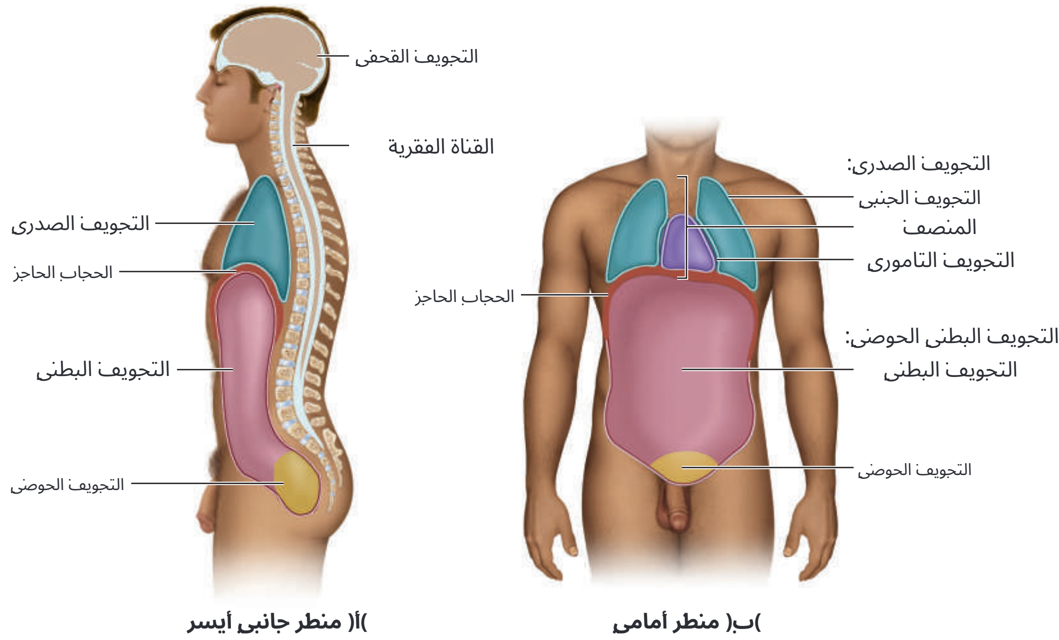
[9]*أمام* = أمام، قبل؛ *ذراع* = الذراع
[10]*عضو* = عضو الجسم

أ.2أ المنطقة المحورية

تتكون المنطقة المحورية من الرأس، الرقبة)المنطقة العنقية(والجذع. يُقسم الجذع إلى المنطقة الصدرية فوق الحجاب الحاجز والمنطقة ال بطنية تحته.
إحدى الطرق للإشارة إلى مواقع الهياكل البطنية هى تقسيم المن طقة إلى أرباع. تقسم خطان متعامدان يتقاطعان عند السرة البطن إلى ربع علوى أيمن)RUQ(، ربع سفلى أيمن)RLQ(، ربع علوى أيسر)LU Q(، وربع سفلى أيسر)LLQ( )الشكل أ.4أ(. يُستخدم نظ ام الأرباع غالبًا لوصف موقع ألم أو شذوذ فى البطن.

يمكن أيضًا تقسيم البطن إلى تسع مناطق محددة بأربعة خطوط تتقاطع مثل شبكة إكس-أو)الشكل أ.4ب(. يُسمى كل خط عمودى خ ط منتصف الترقوة لأنه يمر عبر منتصف الترقوة)عظمة الترقوة(. يُس مى الخط الأفقى العلوى الخط تحت الضلعى 4 لأنه يربط الحدود الس فلية لأدنى غضاريف الأضلاع)الغضروف الذى يربط الضلع العاشر على كل جانب بالنهاية السفلية لعظم القص(. يُسمى الخط الأفقى السفل ى الخط بين النتوءات 5 لأنه يمر من اليسار إلى اليمين بين النتوءات)الأشواك العلوية الأمامية(للحوض — وهما نقطتان عظميتان تقعان تقريبًا عند فتحات الجيوب الأمامية لمعظم السراويل. المناطق الجان بية الثلاثة فى هذه الشبكة، من الأعلى إلى الأسفل، هى المناطق تح ت الضلعية، القطنية، والمنطقة الأربية)الحرقفية(. المناطق الوسطى الثلاثة من الأعلى إلى الأسفل هى المناطق فوق المعدة، السرة، وتح ت المعدة)العانية(.

[3]*عنق* = الرقبة
[4]*تحت* = أسفل؛ *ضلع* = الضلع
[5]*بين* = بين؛ *نتوء* = تورم صغير
[6]*تحت* = أسفل؛ *غضروف* = الغضروف
[7]*أربية* = منطقة الأربية
[8]*فوق* = فوق، أعلى؛ *معدة* = المعدة



الشكل A.5 التجاويف الرئيسية للجسم.)أ(منظر جانبى أيسر.)ب(منظر أمامى.

متصلة ببعضها البعض ومبطنة بثلاث طبقات من الأغشية تُسمى ال سحايا (meh-NIN-jeez). من بين وظائف أخرى، تحمى الحس ايا الأنسجة العصبية الحساسة من العطم الصلب الواقى الذى يحيط بها.

أ.3ب التجويف الصدرى

يحتوى جذع جسمك على فراغين رئيسيين، تجويف الصدر وتجويف ا لبطن والحوص، مفصولين بواسطة طبقة عضلية عرضية، وهى الحجا ب الحاجز. فوق الحجاب الحاجز، فى صدرك، يوجد تجويف الصدر، وتحت الحجاب الحاجز، فى بطنك، يوجد تجويف البطن والحوص. ك لا التجويفين مبطنان بأغشية سيروزية رقيقة، تفرز طبقة رقيقة من ا لرطوبة المزلقة تشبه مصل الدم (ومن هنا جاء اسمها).

تنقسم التجويف الصدرى بواسطة جدار وسطى سميك يُسمى المنصف[12] (ME-dee-ah-STY-num) (الشكل A.5b). هذه هى المنطقة بين الرئتين، وتمتد من قاعدة العنق إلى الحجاب الحاجز. وتشغلها القلب، والأوعية الدموية الرئيسية المتصلة به، والمرىء، والقصبة الهوائية والشعب الهوائية، وغدة تسمى الغدة الزعترية.

القلب محاط بغشاء ذو طبقتين يُسمى التامور.[13] تشكل الطبقة الداخلية من التامور سطح القلب نفسه وتُسمى الطبقة الحشوية. أما الطبقة الخارجية فتُسمى الطبقة الجدارية. تفصل بين هاتين الطبقتين فراغ يُسمى تجويف التامور (الشكل A.6a)، وهو مغطى بسائل التامور. يسمح هذا الفراغ للقلب بحرية الحركة أثناء انقباضه واسترخائه، لكنه قد يشكل مشكلة مهددة للحياة إذا امتلأ بسائل مصلى أو دم (انظر نظرة أعمق A.1).

البطانة الغشائية	الأعضاء المرتبطة	اسم التجويف
		الجدول A.2 تجاويف الجسم والأغشية
الأغشية السحائية	الدماغ	**التجويف القحفى**
الأغشية السحائية	الحبل الشوكى	**القناة الفقرية**
		التجويف الصدرى
الأغشية الجنبية	الرئتان	تجاويف الجنبة (2)
التامور	القلب	تجويف التامور
		تجويف البطن والحوض
البريتوان	الأعضاء الهضمية، الطحال، الكليتان	تجويف البطن
البريتوان	مثانة البولية، المستقيم، الأعضاء التناسلية	تجويف الحوض

يوجد فقط طبقة رقيقة من السائل بينهما. فى مثل هذه الحالات، تُسمى الطبقة الداخلية، التى تلامس العضو، الطبقة الحشوية (VISS-er-ul) من الغشاء، والطبقة الأكثر سطحية أو الخارجية، هى الطبقة الجدارية[11] (pa-RY-eh-tul).

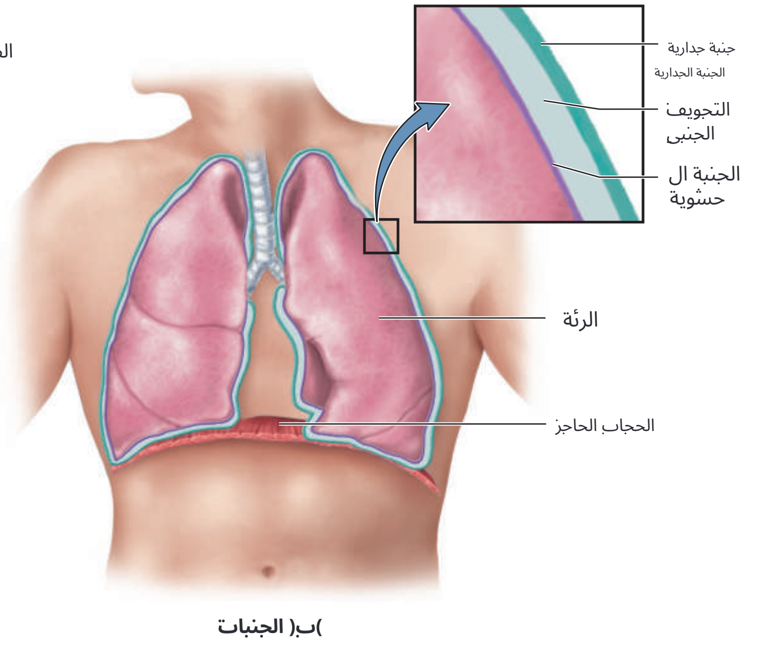
أ.٣أ التجويف القحفى والقناة الفقرية

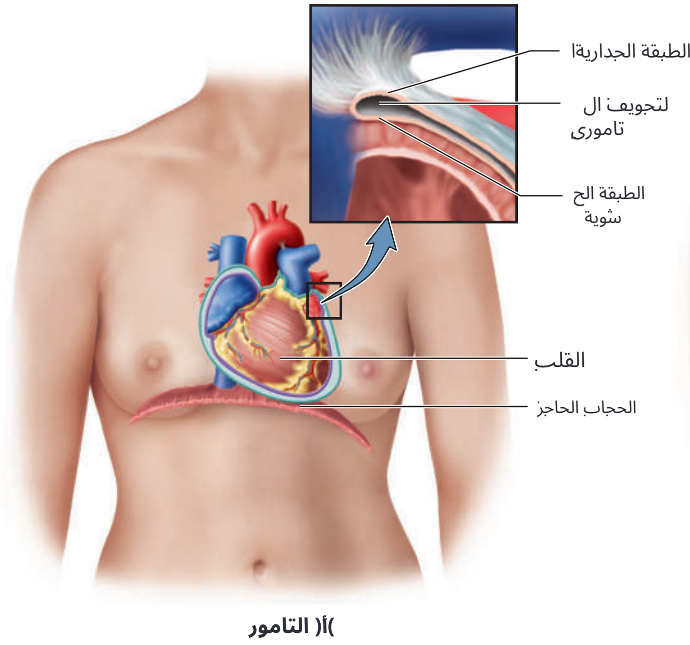
التجويف القحفى محاط بالجمجمة (حافظة الدماغ) ويحتوى على الدماغ. القناة الفقرية محاطة بالعمود الفقرى وتحتوى على الحبل الشوكى. الاثنان هما

[11] الجدار = wall

[12] المنصف = فى الوسط

[13] حول = حول؛ القلب = القلب





الشكل A.6 الطبقات الجداريّة والحشويّة للأغشية ذات الجدار المزدوج.)أ(علاقة التامور بالقلب.
)ب(علاقة الجنبات بالرئتين.

أ.3ح تجويف البطن والحوض

تتكون التجويف البطنى الحوضى من التجويف البطنى فى الأعلى وال تجويف الحوضى فى الأسفل. يحتوى التجويف البطنى على معظم أع ضاء الجهاز الهضمى بالإضافة إلى الطحال والكليتين والحالبين. يمتد إ لى الأسفل حتى مستوى معلم عظمى يُسمى حافة الحوض)انظر الأ شكال B.7 و8.37bg(.
تجويف الحوض، أسفل الحافة، مستمر مع تجويف البطن)لا يوجد جد ار يفصلهما(، لكنه أضيق بشكل ملحوظ ويميل إلى الخلف)انظر الش كل A.5a(. يحتوى على المستقيم، المثانة البولية، الإحليل، والأعضاء ا لتناسلية.
يحتوى تجويف البطن والحوض على غشاء مصلى ذو طبقتين يُ سمى الصفاق[15])PERR-ih-toe-NEE-um(. الطبقة الخارجية، الصفاق الجدارى، تبطن جدار التجويف. على طول الخط الوسيط الخل فى، ينثنى إلى الداخل ويصبح طبقة أخرى، الصفاق الحشوى، التى تعلق بعض الأحشاء البطنية من جدار الجسم، وتغطى أسطحها الخارج ية، وتثبتها فى مكانها. التجويف الصفاقى هو الفراغ بين الطبقتين ال جداريّة والحشويّة. يتم تزييته بواسطة السائل الصفاقى.

بعض أعضاء تجويف البطن تقع مقابل جدار الجسم الخلفى وتُغ طى بالصفاق فقط على الجانب المواجه للتجويف الصفاقى. يُقال إن لها موضع خلف الصفاق [16]"خلف الصفاق"( )انظر الشكل A.7(. وت شمل هذه الكلى، الحالبين، الغدد الكظرية، معظم البنكرياس، وأجزاء بطنية من وعائين دمويين رئيسيين — الشريان الأورطى والوريد الأجو ف السفلى)انظر الشكل B.6(.
الأعضاء التى يحيط بها الصفاق من جميع الجهات ومرتبطة بجدار الج سم الخلفى بأوراق صفاقية توصف بأنها داخل الصفاق17. يُطلق على ا لصفاق الحشوى أيضًا اسم المساريقا[18])MESS-en-tare-ee(ف ى النقاط التى يشكل فيها غشاءً شفافًا وغشائيًا.

[15]peri= حول؛ tone= مشدود
[16]retro= خلف
[17]intra= داخل
[18]mes= فى الوسط؛ enter= أمعاء



نظرة أعمق أ.1

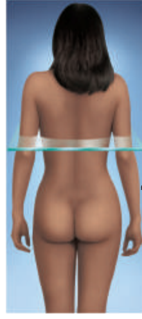
التطبيق السريرى

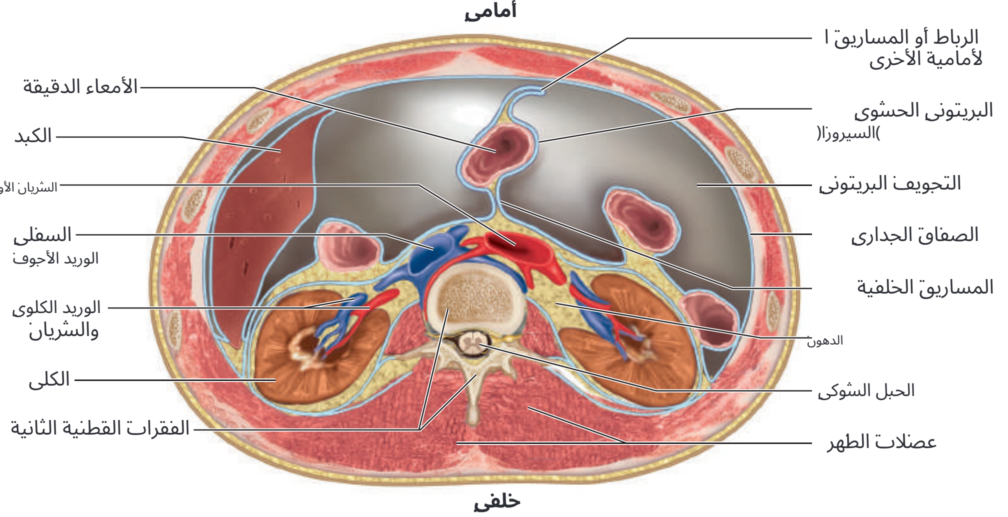
الانصباب التامورى

يمكن أن يسبب احتواء القلب داخل التامور مشكلة فى بعض الظروف. إذا تمزق جدار القلب الضعيف بسبب مرض، أو إذا تعرض لإصابة نافذة مثل طعنة سكين أ و رصاصة، يندفع الدم من القلب إلى التجويف التامورى، مما يملأ التجويف أكثر فأكثر مع كل نبضة قلب. كما أن القلوب المريضة أحيانًا تتسرب منها السوائل الم صلية إلى كيس التامور. فى كلتا الحالتين، يكون التأثير نفسه: كيس التامور لديه م ساحة قليلة للتمدد، لذا فإن تراكم السوائل يضغط على القلب، مضغوطًا إياه ويمن عه من الامتلاء بين النبضات. تُسمى هذه الحالة الانصباب التامورى. إذا لم تستط ع حجرات القلب أن تمتلئ مجددًا، فإن النتاج القلبى ينخفض وقد يموت الشخص بسبب فشل الدورة الدموية الكارثى. تحدثُ حالة مشابهة إذا تراكمت السوائل الم صلية أو الهواء فى التجويف الجنبى، مما يسبب انهيار الرئة.

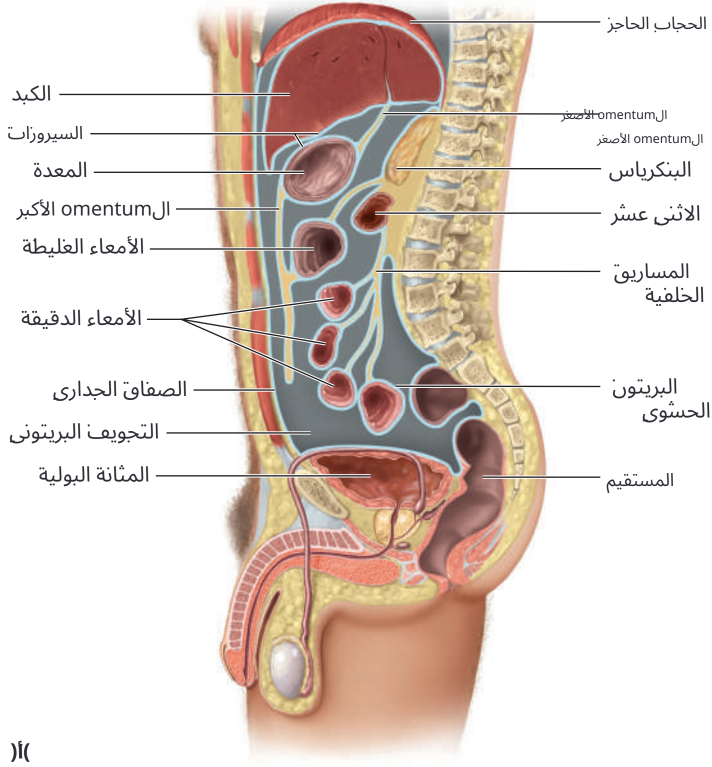
يحتوى الجانب الأيمن والأيسر من تجويف الصدر على الرئتين. كل رئة مغطاة بغشاء مصلى يسمى الجنبة [14]
(PLOOR-uh)(الشكل A.6b(. مثل التامور، تحتوى الجنبة على طبقات حشوية)داخلية(وجدارية)خارجية(. الجنبة الحشوية تشكل السطح الخارجى للرئة، و الجنبة الجدارية تبطن داخل القفص الصدرى. المساحة الضيقة بينهما تسمى التجويف الجنبى)انظر الشكل B.11 فى الأطلس B، بعد الفصل 10(. يتم تزييتها بسائل جنبى زلق.
لاحظ أنه فى كل من التامور والجنبة، تغطى الطبقة الحشوية من الغشاء سطح العضو وتبطن الطبقة الجدارية داخل تجويف الجسم. سنرى هذا النمط فى أماكن أخرى، بما فى ذلك تجويف البطن والحوض.

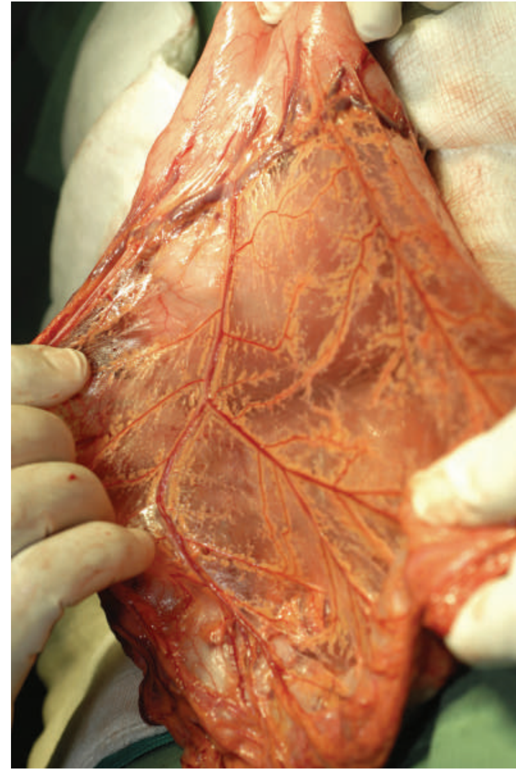
[14]غشاء الجنب = ضلع، جانب





الشكل A.7 مقطع عرضى عبر البطن. يُظهر البريتونى، التجويف البريتونى)مع استبعاد معظم الأحشاء(، وبعض الأعضاء خلف البريتونية.





الشكل A.8 الأغشية المصلية لتجويف البطن.)أ(مقطع سهمى، منظر جانبى أيسر.)ب(صورة المساريقا للأمعاء الدقيقة. تحمل المساريقا الأوعية الدموية، والأوعية اللمفاوية، والأعصاب التى تغذى الأحشاء. APR

هل المثانة البولية فى تجويف الصفاق؟

b: MedicImage/Universal Images Group/Getty Images

بواسطة المساريق الخلفية. المساريق الخلفية للأمعاء الغليظة تُسمى المساريق القولونية. فى بعض الأماكن، بعد أن تلف حول الأمعاء أو ا لأحشاء الأخرى، تستمر المساريق نحو الجدار الأمامى للجسم كـ الم ساريق الأمامية. المثال الأكثر أهمية على ذلك هو غشاء دهنى يسمى greater omentum[19] الذى يتدلى مثل مئزر من الجانب السفلى ا لجانبى

ستارة تعلق وتثبت الأحشاء)الشكل A.8(، وserosa)سير-أوه-سا(فى النقاط التى تلتف وتغطى السطوح الخارجية لأعضاء مثل المعدة والأمعاء الدقيقة. هناك مساريقا واحدة فقط فى البطن، لكنها تطوى بطريقة معقدة حول الأمعاء بحيث أعطت علماء التشريح انطباعًا لوق ت طويل بوجود عدة مساريق منفصلة. ومع ذلك، لا نزال نستخدم أ سماء أكثر تحديدًا لمناطق مختلفة من المساريق الواحدة. تُعلق الأمعا ء من الجدار البطنى الخلفى)الظهرى(

[19]الملحق = الغطاء

أنظمة الأعضاء A.4

يحتوى جسم الإنسان على 11 نظامًا عضويًا)الشكل A.9(ونظام مناعي، والذي يُوصف بشكل أفضل على أنه مجموعة من الخلايا التي تسكن عدة أعضاء بدلاً من كونه نظامًا عضويًا. تُصنف أنظمة الأعضاء فى القائمة التالية حسب وظائفها الرئيسية، ولكن هذا تصنيف غير كامل. بعض الأعضاء تنتمى إلى نظامين أو أكثر — على سبيل المثال، الإحليل الذكرى هو جزء من كل من الجهاز البولى والجهاز التناسلى؛ والبنكرياس هو جزء من الجهاز الصماء والجهاز الهضمى؛ ويمكن اعتبار الغدد الثديية جزءًا من الجهاز الجلدى والجهاز التناسلى الأنثوى. أنظمة الأعضاء هى كما يلى:

أنظمة الحماية والدعم والحركة

الجهاز الجلدى
الجهاز الهيكلى
الجهاز العضلى

أنظمة الاتصال الداخلى والسيطرة

الجهاز العصبى
الجهاز الصماء

أنظمة نقل السوائل

الجهاز الدورى
الجهاز اللمفاوى

أنظمة الإدخال والإخراج

الجهاز التنفسى
الجهاز البولى
الجهاز الهضمى

أنظمة التكاثر

الجهاز التناسلى الذكرى
الجهاز التناسلى الأنثوى

تجمع بعض المصطلحات الطبية أسماء نظامين معًا—على سبيل المثال، الجهاز *العضلى الهيكلى، الجهاز القلبى الرئوى، والجهاز البولى التناسلى)الجهاز البولى التناسلى(.* تُستخدم هذه المصطلحات للفت الانتباه إلى العلاقات التشريحية أو الفسيولوجية الوثيقة بين نظامين، لكنها ليست أنظمة أعضاء مستقلة حرفيًا.



نظرة أعمق أ.2

التطبيق السريرى

التهاب الصفاق

التهاب الصفاق هو التهاب فى الصفاق. وهو حالة حرجة تهدد الحياة وتتطلب علاجًا فوريًا. السبب الأكثر خطورة لالتهاب الصفاق هو ثقب فى الجهاز الهضمى، مثل تمزق الزائدة الدودية أو جرح طلق نارى. تسبب العصارات الهضمية التهابًا كيميائيًا فوريًا فى الصفاق، يتبعه التهاب ميكروبى مع غزو بكتيريا الأمعاء لتجويف الجسم. أى شيء يخترق جدار البطن يمكن أن يؤدى أيضًا إلى التهاب الصفاق—على سبيل المثال، الجراحة، الطلقات النارية، والجروح الطعنية. وكذلك يمكن أن يؤدى وجود دم حر فى تجويف البطن، كما فى حالة تمزق تمدد الأوعية الدموية)نقطة ضعف فى وعاء دموى(أو الحمل خارج الرحم)انغراس الجنين فى مكان غير الرحم(؛ فالدم نفسه مهيج كيميائى للصفاق. يميل التهاب الصفاق إلى تحويل السوائل من الدورة الدموية إلى تجويف البطن. قد يؤدى ذلك إلى الوفاة خلال أيام قليلة بسبب اختلال توازن الكهارل الشديد، وضيق التنفس، وفشل الكلى، وتجلط الدم المنتشر المعروف باسم التخثر داخل الأوعية المنتشر.

حافة المعدة وتغطى الأمعاء)الأشكال A.8a وB.4(. الملحق الأكبر غير مرتبط عند حدّه السفليويمكن رفعه لكشف الأمعاء. ملحق أصغر الملحق الأصغر يمتد من الحافة العلوية الوسطى للمعدة إلى الكبد.

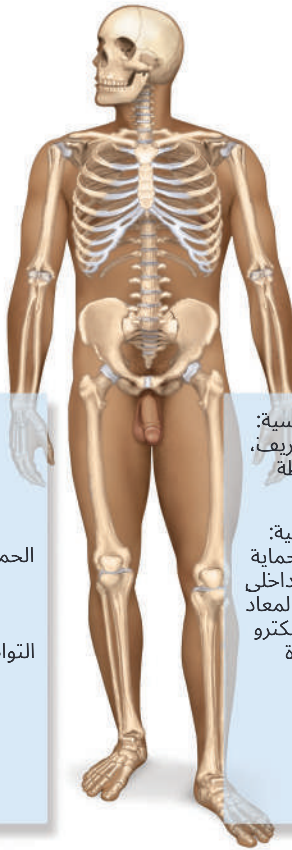
A.3d الفراغات المحتملة

بعض الفراغات بين أغشية الجسم تُعتبر فراغات محتملة، سُميت بذلك لأنه فى الظروف الطبيعية، تكون الأغشية مضغوطة بإحكام معًا ولا يوجد فراغ فعلى بينها. ومع ذلك، الأغشية ليست مرتبطة ماديًا، وفى ظروف غير عادية، قد تنفصل وتُكوّن فراغًا مملوءًا بالسائل أو مواد أخرى. لذلك، لا يوجد فراغ فعلى عادةً، بل فقط احتمال انفصال الأغشية وتكوين فراغ.

تجويف الجنبة هو مثال واحد. عادةً ما تكون الجنبة الجدارية والجنبة الحشوية مضغوطة معًا بدون فجوة بينهما، لكن فى الحالات المرضية، يمكن أن يتجمع الهواء أو السائل المصلى بين الأغشية ويفتح فراغًا. التجويف الداخلى)اللمعة(للرحم مثال آخر. فى رحم غير حامل، تكون الأغشية المخاطية لجدران متقابلة مضغوطة معًا فلا يوجد فراغ مفتوح فى العضو. أما فى الحمل، بالطبع، يشغل الجنين المتنامى هذا الفراغ ويدفع الأغشية المخاطية بعيدًا.



الجهاز العضلى



الجهاز الهيكلى



الجهاز الجلدى



الجهاز البولى

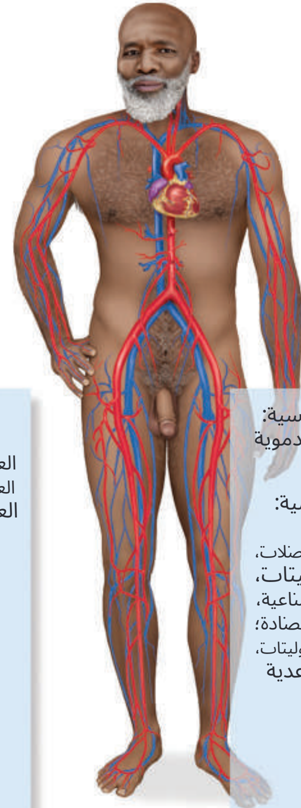


الجهاز التنفسى



الجهاز اللمفاوى

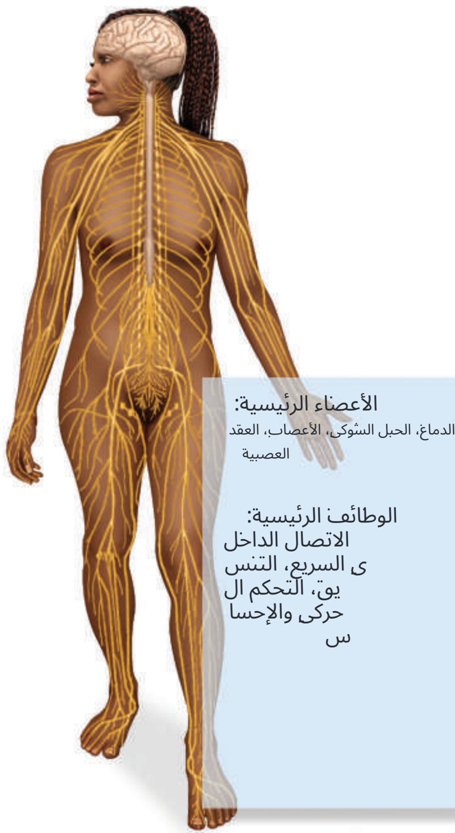
الشكل أ.9 أنظمة أعضاء الإنسان.



الجهاز الدورى



الجهاز الغدد الصماء



الجهاز العصبى



الجهاز التناسلى الأنثوى



الجهاز التناسلى الذكرى



الجهاز الهضمى

الشكل A.9 أنظمة أعضاء الإنسان)تابع(.

دليل الدراسة

قيّم نتائج تعلمك

لاختبار معرفتك، ناقش المواضيع التالية مع شريك دراسي أو كتابةً، ويفضل أن يكون ذلك من الذاكرة.

1.أ المصطلحات التشريحية العامة

1. الوضع التشريحي ولماذا هو مهم للوصف التشريحي
2. الاتجاهات التي يُقسم بها الجسم أو العضو بوا سطة المستويات السهمية، الجبهية، والعرض ية؛ وكيف يختلف المستوى المتوسط عن ال مستويات السهمية الأخرى
3. معاني كل من أزواج أو مجموعات المصطلحا ت التالية، والقدرة على وصف المواقع النس بية لجزأين من الجسم باستخدام هذه المصطلح ات: البطني و الظهري؛ الأمامي و الخلفي؛ القحفي، الأنفي و الذنبي؛ العلوي و السفلي؛ ا لوسيط و الجانبي؛ القريب و البعيد؛ السطح ي و العميق
4. لماذا تكون المصطلحات *البطني* و*الظهري* غ امضة في تشريح الإنسان ولكن أقل غموضًا في معظم الحيوانات الأخرى؛ وما هي المصط لحات المستخدمة بدلاً منها في تشريح الإنسا ن؛ والأسباب التي تجعلها مناسبة أحيانًا أو لا مفر منها في تشريح الإنسان

2.أ المناطق الرئيسية للجسم

1. الفروقات بين المناطق المحورية والمناطق الطرفية للجسم
2. تقسيمات المنطقة المحورية والمعالم التي تقسمها وتحددها
3. الأرباع الأربعة والتسع مناطق للبطن؛ معالمها المحددة؛ ولماذا هذا النظام مفيد سريريًا
4. أجزاء الأطراف العلوية والسفلية؛ كيف تختلف المعاني التشريحية لـ *الذراع* و *الساق* عن المعاني العامية

3.أ تجاويف الجسم والأغشية

1. مواقع ومحتويات تجويف الجمجمة، القناة ا لفقرية، تجويف الصدر، وتجويف البطن و الحوض؛ الأغشية التي تبطنها؛ والأعضاء الرئ يسية الموجودة في كل منها
2. محتويات المنصف وعلاقتها بالتجويف ال صدري ككل
3. التامور، طبقاته الاثنتان، الفراغ والسائل بين الطبقتين، ووظيفته
4. الغشاء الجنبي، طبقاته الاثنتان، الفراغ والسا ئل بين الطبقتين، ووظيفتهما
5. القسمان الفرعيان لتجويف البطن والحوض وا لعلامة العظمية التي تفصلهما
6. الغشاء البريتوني؛ وظائفه؛ طبقاته الاثنتان وع لاقتهما بالأحشاء البطنية؛ والسائل البريتوني
7. المساريق والأغشية المصلية
8. الأعضاء داخل الصفاق مقابل الأعضاء خل ف الصفاق، أمثلة على كلا النوعين، وكيف يمكن تحديد ما إذا كان العضو داخل الصفاق أو خلف الصفاق
9. أسماء ومواقع المساريق الخلفية والأمامية
10. الغشاء المصلي لعضو في تجويف البطن والحو ض وكيف يرتبط بالغشاء البريتوني
11. أمثلة على الفراغات المحتملة ولماذا سميت بهذا الاسم

٤.أ أنظمة الأعضاء

1. أنظمة الأعضاء الأحد عشر، وظائف كل منها، وا لأعضاء الرئيسية في كل نظام

اختبار استدعاء المعلومات الخاصة بك

الإجابات في الملحق أ

1. أي مما يلي *ليس* جزءًا أساسيًا من الوضع التشريحي؟
   - أ. القدمين معًا
   - ب. القدمين مسطحتين على الأرض
   - ج. راحة اليدين إلى الأمام
   - د. الفم مغلق
   - هـ. الأذرع إلى الأسفل بجانب الجسم
2. قسم على شكل حلقة من الأمعاء الدقيقة سيكون قسمًا ______ قسم.
   - أ. سهمي
   - ب. إكليلي
   - ج. عرضي
   - د. جبهوي
   - هـ. وسيط
3. منطقة الرسغ القدمية هي ______ إلى منطقة خلف الركبة (المنطقة الركبية الخلفية).
   - أ. وسطي
   - ب. سطحي
   - ج. علوي
   - د. ظهري
   - هـ. بعيد
4. الـomentum الأكبر هو ______ إلى الأمعاء الدقيقة.
   - أ. خلفي
   - ب. جداري
   - ج. عميق
   - د. سطحي
   - هـ. قريب
5. يمر المستوى عبر عظم القص، ______ أ السرة، والنتوء العاني.
   - أ. مركزي
   - ب. قريب
   - ج. متوسط الترقوة
   - د. الوسطي السهمية
   - هـ. بين الأثلام
6. المنطقة تقع مباشرة في الوسط ______ ال إلى منطقة الورك.
   - أ. الأربية
   - ب. تحت الضلعية
   - ج. السُرّة
   - د. خلف الركبة
   - هـ. الكوع
7. أي من المناطق التالية ليست جزءًا من الطر ف العلوي؟
   - أ. باطن القدم
   - ب. رسغي
   - ج. الكوع
   - د. العضدي
   - هـ. راحة اليد
8. أي من هذه الأعضاء يقع داخل التجويف البريتوني؟
   - أ. المثانة البولية
   - ب. الكلى
   - ج. القلب
   - د. الكبد
   - هـ. الدماغ
9. في أي منطقة تعتقد أن الألم الناتج عن المرارة سيشعر به؟
   - أ. منطقة السرة
   - ب. الربع العلوي الأيمن
   - ج. المنطقة تحت السرة
   - د. المنطقة تحت الضلوع اليسرى
   - هـ. الربع السفلي الأيسر

دليل دراسة

17. الأعضاء التى تقع داخل تجويف البطن ولكن ليست داخل تجويف الصفاق يُقال عنها أن له ا ______ الوضعية.

18. إلى ______ منطقة القص. منطقة الصدر.

19. يمكن وصف التجويف الحوضى بأنه بالنسبة للتجويف البطنى فى ______ الوضعية.

20. الحفرة الأمامية للمرفق هى ______ المنطقة، والحفرة المقابلة)ولكن الخلفية(للركبة هى ______ المنطقة.

13. تُفصل التجاويف الجنبية اليمنى واليسرى بجدار سميك يُسمى ال ______.

14. ______ خلف الرقبة هو منطقة ال منطقة.

15. إذا كان هناك عضوان على جانبى الجسم المتقابلين)يمين ويسار(، نقول إنهما بالنسبة لبعضهما البعض.______

16. التجويف القحفى مبطن بأغشية تُسمى ال ______.

10. أى نظام عضوى ينظم حجم الدم، يتحكم فى توازن الحمض والقاعدة، ويحفز إنتاج خلايا الدم الحمراء؟

أ. الجهاز الهضمى
ب. الجهاز اللمفاوى
ج. الجهاز العصبى
د. الجهاز البولى
هـ. الجهاز الدورى

11. الغشاء الشفاف الذى يعلقالأمعاء ويثبتها فى مكانها يُسمى ______.

12. الطبقة السطحية من الجنبة تُسمى ______ الجنبة.

بناء مفرداتك الطبية

الإجابات فى الملحق أ

اذكر معنى كل عنصر من عناصر الكلمة، وقدم مصطلحًا طبيًا من هذا الأطلس يستخدمه أو تغييرًا طفيفًا له.

1. ante-
2. cervico-
3. epi-
4. hypo-
5. inguino-
6. intra-
7. parieto-
8. peri-
9. retro-
10. ساجيتو-

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

الإجابات فى الملحق أ

اشرح بإيجاز لماذا كل من العبارات التالية خاطئة، أو أعد صياغتها لتصبح صحيحة.

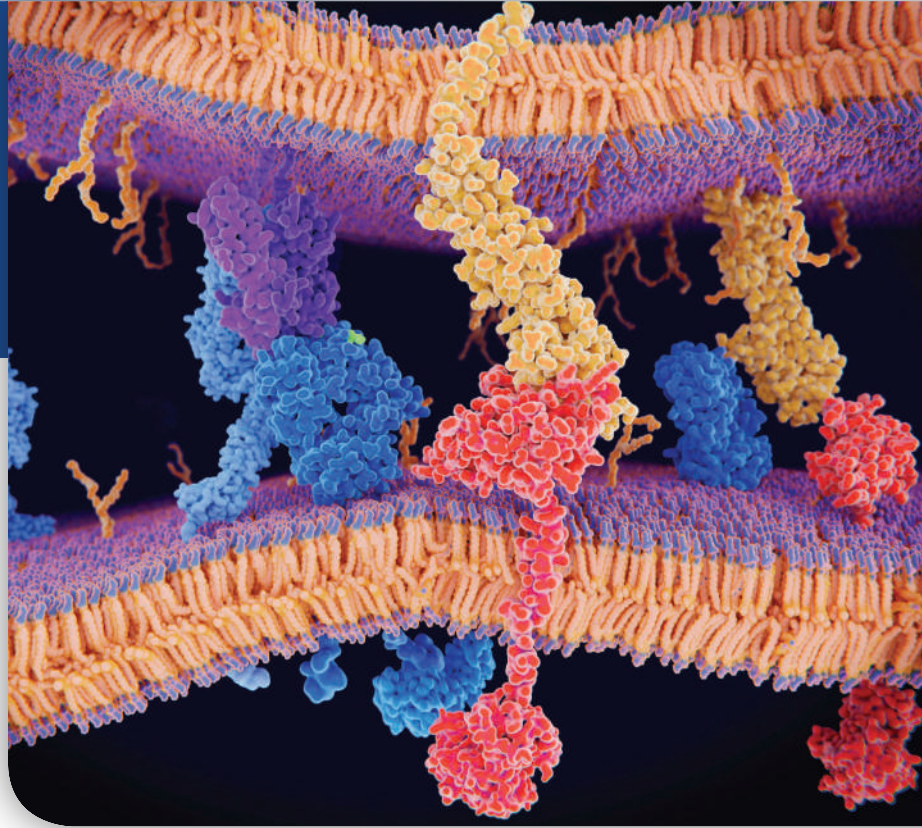
1. لا يمكن إظهار كلا الرئتين فى مقطع سهمى واحد من الجسم.
2. لا يمكن أن يشمل مقطع جبهى واحد للرأس كلتا العينين.
3. الركبة أبعد من منطقة الرسغ)القدم(.
4. الحجاب الحاجز يقع أمام الرئتين.
5. المرىء يقع أعلى من المعدة.
6. الكبد ليس فى منطقة القطنية.
7. القلب يقع فى الفراغ بين التامور الجدارى والتامور الحشوى، والذى يسمى تجويف التامور.
8. الكليتان ليستا فى تجويف الصفاق فى البطن.
9. الصفاق يبطن الجزء الداخلى من جدار البطن وليس داخل المعدة والأمعاء.
10. القولون السينى يقع فى الربع السفلى الأيمن من البطن.

اختبار فهمك

1. حدد أى مستوى تشريحى — السهمى، الأمامى، أو العرضى — هو الوحيد الذى لا يمكنه عرض)أ(كل من الدماغ و اللسان،)ب(كلتا العينين،)ج(كل من منطقتى تحت السرة والأرداف،)د(كلتا الكليتين،)هـ(كل من عظم القص والعمود الفقرى، و)و(كل من القلب والرحم.
2. غالبًا ما يسىء العامة فهم المصطلحات التشريحية. ماذا تعتقد أن الناس يعنون حقًا عندما يقولون إن لديهم "ثآليل باطن القدم"؟
3. اذكر بنية أو ميزة تشريحية يمكن العثور عليها فى كل من المواقع التالية بالنسبة للأضلاع: الوسيط، الجانبى، الأعلى، الأسفل، العميق، السطحى، الخلفى، والأمامى. حاول ألا تستخدم نفس المثال مرتين.
4. استنادًا إلى الرسوم التوضيحية فى هذا الأطلس، حدد عضوًا داخليًا يكون)أ(فى الربع العلوى الأيسر وخلف الصفاق،)ب(فى الربع السفلى الأيمن من تجويف الصفاق،)ج(فى منطقة تحت السرة،)د(فى المنطقة تحت الضلعية اليمنى، و)هـ(فى منطقة الصدر.
5. لماذا تعتقد أن الأشخاص الذين يعانون من أمراض وهمية أصبحوا يُطلق عليهم اسم "المتوهمون"؟

الفصل 2

THE CHEMISTRY
الحياة

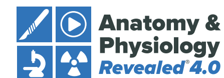


بروتينات غشاء الخلية التى تتحكم فى التفاعل بين خلية مناعية)الخلايا التائية (فى الأسفل وخلية مقدمة للمستضد)APC(فى الأعلى. تم إنشاء هذه ال صورة من خلال الجمع بين الحاسوب العملاق ومجهر إلكترونى بالتبريد)cryo-EM(لرؤية الجزيئات على المستوى الذرى.

مكتبة صور العلوم / صورة ألامى ستوك

مخطط الفصل

رؤى أعمق



الوحدة 2: الخلايا والكيمياء

2.1أ العناصر الكيميائية

العنصر الكيميائى هو أبسط أشكال المادة التى تمتلك خصائص كيميا ئية فريدة. على سبيل المثال، الماء ليس عنصراً؛ فهو يمتلك خصائ ص فريدة، لكنه يمكن تفكيكه إلى عنصرين، الهيدروجين والأكسجين، اللذين يمتلكان خصائص كيميائية فريدة خاصة بهما. إذا واصلنا هذه ا لعملية أكثر، نجد أن الهيدروجين والأكسجين يتكونان من بروتونات ون يوترونات وإلكترونات—ولا شيء من هذه الجسيمات فريد. بروتون الذ هب مطابق لبروتون الأكسجين. الهيدروجين والأكسجين هما أبسط ا لمكونات الكيميائية الفريدة للماء وبالتالى هما عناصر.

يُحدد كل عنصر بواسطة *الرقم الذرى*، وهو عدد البروتونات فى نو اته. على سبيل المثال، الرقم الذرى للكربون هو 6 وللأكسجين هو 8. يُرتب الجدول الدورى للعناصر (انظر الملحق ح) العناصر حسب أرقامه ا الذرية. تمثل العناصر برموز مكونة من حرف أو حرفين، عادة ما تشير إلى أسمائها الإنجليزية: C للكربون، Mg للمغنيسيوم، Cl للكلور، وهكذ ا. بعض الرموز تمثل أسمائها اللاتينية الأصلية، مثل K للبوتاسيوم (*كا ليم*)، وNa للصوديوم (*ناتريوم*)، وFe للحديد (*فيروم*).

هناك 91 عنصراً طبيعياً على الأرض، 24 منها تلعب أدواراً فسيو لوجية طبيعية فى الإنسان. الجدول 2.1 يصنف هذه العناصر الـ 24 حسب وفرتها فى الجسم.
ستة منها تشكل 98.5% من وزن الجسم: الأكسجين، الكربون، الهيدر وجين، النيتروجين، الكالسيوم، والفوسفور.
النسبة التالية 0.8% تتكون من 6 عناصر أخرى: الكبريت، البوتاسيوم، الصوديوم، الكلور، المغنيسيوم، والحديد. العناصر الـ 12 المتبقية تش كل فقط 0.7% من وزن الجسم؛ لذلك تُعرف بـ العناصر النزرة. على ا لرغم من كمياتها الضئيلة، فإن العناصر النزرة

الجدول 2.1 **عناصر جسم الإنسان**

نسبة وزن الجسم	الاسم و الرمز	نسبة وزن الجسم	الاسم و الرمز
العناصر الرئيسية (إجمالى 98.5%)			
3.0	النيتروجين (N)	65.0	الأكسجين (O)
1.5	الكالسيوم (Ca)	18.0	الكربون (C)
1.0	الفوسفور (P)	10.0	الهيدروجين (H)
العناصر الأقل (إجمالى 0.8%)			
0.15	الكلور (Cl)	0.25	الكبريت (S)
0.05	المغنيسيوم (Mg)	0.20	البوتاسيوم (K)
0.006	الحديد (Fe)	0.15	الصوديوم (Na)
العناصر النزرة (إجمالى 0.7%) (الأسماء والرموز فقط)			
القصدير (Sn)	الموليبدينوم (Mo)	الفلور (F)	الكروم (Cr)
الفاناديوم (V)	السيلينيوم (Se)	اليود (I)	الكوبالت (Co)
الزنك (Zn)	السيليكون (Si)	المنغنيز (Mn)	النحاس (Cu)

التحديث

ابتداءً من هنا، يبنى كل فصل على المعلومات المقدمة فى الفصول ال سابقة. إذا لم تتذكر هذه المفاهيم بوضوح، فقد تجد أن مراجعتها قبل ا لمتابعة ستمكنك من الاستفادة أكثر من كل فصل جديد.

- يقدم قسم "خصائص الحياة" فى القسم 1.6a الأيض كواحدة من أهم و ظائف الإنسان الأساسية. هنا سوف نتعمق أكثر فى الأيض وتقسيمه إل ى قسمين فرعيين، البناء (الأنابوليزم) والهدم (الكاتابوليزم).

لماذا يكون تناول الكثير من الصوديوم أو الكوليسترول ضارًا؟ لماذا يسبب نقص الحديد فقر الدم ونقص اليود تضخم الغدة الدرقية؟ لم اذا يجعل اختلال توازن الرقم الهيدروجينى بعض الأدوية أقل فعالية؟ لماذا تعانى بعض النساء الحوامل من التشنجات بعد عدة أيام من القيء؟ كيف يمكن للإشعاع أن يسبب السرطان وكذلك يعالجه؟

لا يمكن الإجابة على أى من هذه الأسئلة، ولن يكون بقية هذا الكتاب م فهومًا، دون فهم كيمياء الحياة. يمكن أن تساعدك معرفة بسيطة بالكيمياء فى اختيار نظام غذائى صحى، واستخدام الأدوية بحكمة أكبر، وتجنب الاتجا هات الصحية الزائفة والاحتيالات، وشرح العلاجات والإجراءات لمرضاك أو عملائك. لذلك، نبدأ دراستنا لجسم الإنسان بالكيمياء الأساسية، أبسط مس توى فى تنظيم بنية الجسم.

سنتقدم من الكيمياء العامة إلى الكيمياء الحيوية، دراسة الجزيئات التى تتكون منها الكائنات الحية — خاصة الجزيئات الفريدة للكائنات الحية، م ثل الكربوهيدرات والدهون والبروتينات والأحماض النووية. معظم الناس سمعوا على الأقل عن هذه؛ فمن المعروف أننا بحاجة إلى البروتينات والده ون والكربوهيدرات والفيتامينات والمعادن فى نظامنا الغذائى، وأنه يجب علينا تجنب استهلاك الكثير من الدهون المشبعة والكوليسترول.

لكن معظم الناس لديهم مفهوم غامض فقط عما هى هذه الجزيئات، ناهي ك عن كيفية عملها فى الجسم. هذه المعرفة مفيدة جدًا فى مسائل اللياقة الشخصية وتثقيف المرضى، وهى ضرورية لفهم بقية هذا الكتاب.

2.1 الذرات، الأيونات، والجزيئات

نتائج التعلم المتوقعة

عندما تكمل هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. تحديد عناصر الجسم من رموزها؛
ب. التمييز بين العناصر والمركبات؛
ج. ذكر وظائف المعادن فى الجسم؛
د. شرح أساس النشاط الإشعاعى وأنواع ومخاطر الإشعاع المؤ ين؛
هـ. التمييز بين الأيونات، الإلكتروليتات، والجذور الحرة؛ و
و. حدد أنواع الروابط الكيميائية.

رًا حيويًا في الفسيولوجيا. يمكن لعناصر أخرى لا تلعب أدوارًا فسيولوجية طبيعية أن تلوث الجسم وتُعطل وظائفه بشدة، كما في التسمم بالمعادن الثقيلة مثل الرصاص أو الزئبق.

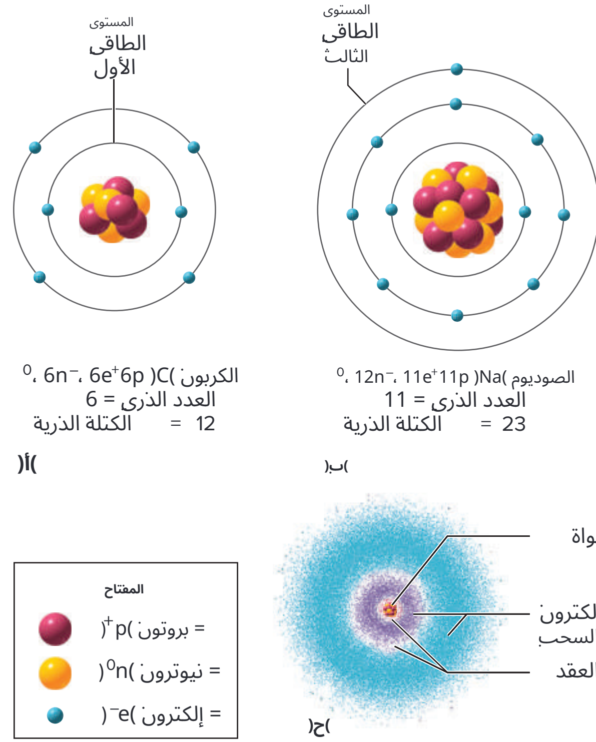
يُصنف العديد من هذه العناصر كـمعادن—عناصر غير عضوية تستخلصها النباتات من التربة وتنتقل عبر السلسلة الغذائية إلى البشر والكائنات الأخرى. تشكل المعادن حوالي 4% من وزن جسم الإنسان. يشكل الكالسيوم والفوسفور ما يقرب من ثلاثة أرباع هذا الوزن؛ أما الباقي فهو بشكل رئيسي الكلور والمغنيسيوم والبوتاسيوم والصوديوم والكبريت. تسهم المعادن بشكل كبير في بنية الجسم.
تتكون العظام والأسنان جزئيًا من بلورات الكالسيوم، الفوسفات، المغنيسيوم، الفلوريد، وأيونات الكبريتات. تحتوي العديد من البروتينات على الكبريت، والفوسفور هو مكون رئيسي للأحماض النووية، ATP، وأغشية الخلايا. كما تمكّن المعادن الإنزيمات وجزيئات عضوية أخرى من العمل. اليود هو مكون لهرمون الغدة الدرقية؛ الحديد هو مكون للهيموغلوبين؛ وبعض الإنزيمات تعمل فقط عندما تكون المعادن مثل المنغنيز، الزنك، النحاس، أو معادن أخرى مرتبطة بها. الأملاح المعدنية اللازمة لوظائف الأعصاب والعضلات هي إلكتروليتات.

2.1ب التركيب الذري

في القرن الخامس قبل الميلاد، استنتج الفيلسوف اليوناني ديموقريطس أنه يمكننا تقطيع المادة مثل قطعة الذهب إلى قطع أصغر وأصغر، ولكن يجب أن تكون هناك في النهاية جزيئات صغيرة جدًا بحيث لا يمكن تقطيعها. أطلق على هذه الجزيئات الخيالية اسم "الذرات" (غير القابلة للتجزئة). كانت الذرات مجرد مفهوم فلسفي حتى عام 1803، عندما بدأ الكيميائي الإنجليزي جون دالتون في تطوير نظرية ذرية بناءً على الأدلة التجريبية. في عام 1913، اقترح الفيزيائي الدنماركي نيلز بور نموذجًا للتركيب الذري يشبه الكواكب التي تدور حول الشمس.

)الشكل 2.1(. نموذج بور هو مخطط مفيد لتصور مكونات الذرة والتفاعلات الكيميائية بينها، لكنه لا يمثل التركيب الذري الحقيقي أكثر من نموذج الكرة والعصا الذي يستخدمه الطلاب والذي لا يشبه الجزيئات الحقيقية.
وفقًا لميكانيكا الكم، الذرات ليست كروية؛ ليس لها سطح صلب أو حدود؛ وجسيماتها دون الذرية لها احتمالات معينة فقط لتواجدها في أي مكان معين في أي وقت معين)الشكل 2.1ح(.

في مركز الذرة يوجد النواة، المكونة من البروتونات والنيوترونات. البروتونات)p+(تحمل شحنة موجبة واحدة، والنيوترونات)n0(ليس لها شحنة. يزن كل بروتون أو نيوترون حوالي وحدة كتلة ذرية واحدة)amu(. الكتلة الذرية للعنصر تقريبًا تساوي العدد الإجمالي للبروتونات والنيوترونات.
حول النواة توجد سحابات من الإلكترونات)e-(، وهي جسيمات صغيرة تحمل شحنة سالبة واحدة وكتلة منخفضة جدًا. يلزم 1836 إلكترونًا لتساوي كتلة بروتون واحد، لذلك يمكننا تجاهل كتلتها في معظم الحالات. شخص يزن 64 كجم)140 رطل(يحتوي على أقل من 24 جرامًا)1 أونصة(من الإلكترونات. هذا لا يعني أننا يمكننا تجاهل الإلكترونات، فهي تحدد الخصائص الكيميائية للذرة، وتتحكم في الجزيئات التي يمكن أن توجد والتفاعلات الكيميائية التي يمكن أن تحدث. عدد الإلكترونات يساوي عدد البروتونات، لذا تلغي شحناتها بعضها البعض وتكون الذرة متعادلة كهربائيًا.



الشكل 2.1 نماذج البنية الذرية.)أ(نموذج بور الكوكبي للكربون، مع إلكترونات في مستويين طاقيين متحدي المركز)أغلفة(، حيث تكون الإلكترونات ذات الطاقة الأعلى أبعد عن النواة.)ب(نموذج بور للصوديوم، مع غلاف إلكتروني ثالث.)ح(النموذج الكمومي الميكانيكي الأكثر واقعية للكربون، حيث يتم تصوير الإلكترونات فقط باحتمالية وجودها في مكان معين في وقت معين، في أغلفة تفصل بينها مناطق واضحة)*nodes*(ذات احتمال منخفض إلى صفر.

تدور الإلكترونات حول النواة في مناطق متحدة المركز تسمى أغلفة الإلكترون)مستويات الطاقة(. كلما زادت طاقة الإلكترون، زاد بعد مداره عن النواة. كل غلاف يحمل عددًا محدودًا من الإلكترونات. العناصر المعروفة حتى الآن تحتوي على ما يصل إلى سبعة أغلفة إلكترونية، لكن تلك التي تشارك عادة في فسيولوجيا الإنسان لا تتجاوز أربعة.
تحدد إلكترونات الغلاف الخارجي، المسماة إلكترونات التكافؤ، خصائص الترابط الكيميائي للذرة. توضح الرسوم التوضيحية للذرات المسافات بين نواتها وإلكتروناتها بشكل مبسط لتناسب الصفحة. إذا تخيلت أن نواة الذرة بحجم كرة سلة، فإن أقرب إلكترون سيكون على بعد حوالي 48 كيلومترًا)30 ميلًا(.

2.1ح النظائر والنشاط الإشعاعي

كان دالتون يعتقد أن كل ذرة من عنصر ما متطابقة.
نعلم الآن، مع ذلك، أن جميع العناصر لها أنواع تُسمى النظائر،[2] التي تختلف عن بعضها البعض فقط في عدد النيترونات وبالتالي في الكتلة الذرية. على سبيل المثال، ذرات الهيدروجين تحتوي على بروتون واحد فقط. في النظير الأكثر شيوعًا، الذي يُرمز له
[1]الهيدروجين، هذا كل ما يتعلق بالنواة. للهيدروجين خاصيتان أخريان

[1] *a* = لا؛ *tom* = قطع

[2] *iso* = نفس؛ *top* = مكان)نفس الموقع في الجدول الدوري(



نظرة أعمق 2.1

التاريخ الطبى

الإشعاع والسيدة كورى

فى عام 1896، اكتشف العالم الفرنسى هنرى بيكريل (1852–1908) أن اليورانيوم يُظلم الألواح الفوتوغرافية عبر عدة طبقات سميكة من الورق. اكتشفت مارى كورى (1867–1934) وزوجها بيير كورى (1859–1906) أن البولونيوم والراديوم يفعلان الشيء نفسه. صاغت مارى مصطلح النشاط الإشعاعى لوصف انبعاث الطاقة من هذه العناصر.

شارك بيكريل والكوريون جائزة نوبل فى عام 1903 عن هذا الاكتشاف. لم تكن مارى كورى (الشكل 2.2) أول امرأة فى العالم تحصل على جائزة نوبل فحسب، بل كانت أيضًا أول امرأة فى فرنسا تحصل على درجة الدكتوراه. حصلت على جائزة نوبل الثانية فى عام 1911 لأعمالها الإضافية فى مجال الإشعاع. ناضلت كورى لتدريب النساء على مهن فى العلوم، وخلال الحرب العالمية الأولى، قامت هى وابنتها إيرين جولييه-كورى (1897–1956) بتدريب الأطباء على استخدام أجهزة الأشعة السينية. كانت مارى رائدة فى علاج الإشعاع لسرطان الثدى والرحم.

فى أعقاب هذه الاكتشافات، اعتُبر الراديوم دواءً معجزة. غير مدركين لخطورته، كان الناس يشربون مقويات الراديوم ويتدفقون إلى المنتجعات الصحية للاستحمام فى المياه الغنية بالراديوم. عانت مارى نفسها من أضرار واسعة فى يديها نتيجة التعامل مع المعادن المشعة وتوفيت بسبب تسمم الإشعاع عن عمر يناهز 67 عامًا. فى العام التالى، حصلت إيرين وزوجها فريدريك جولييه (1900–1958) على جائزة نوبل لأعمالهما فى النشاط الإشعاعى الصناعى والنظائر المشعة الاصطناعية. ويبدو أن إيرين أيضًا كانت شهيدة لعلمها، حيث توفيت بسبب اللوكيميا، ربما ناجمة عن التعرض للإشعاع.



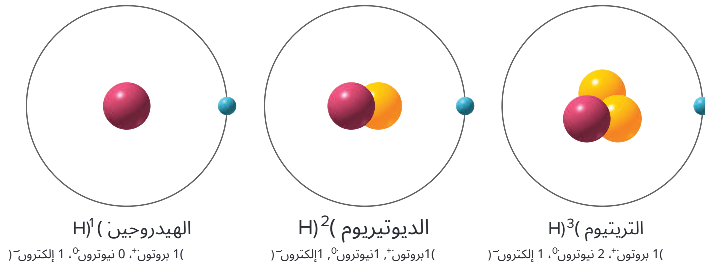
الشكل 2.2 مارى كورى (1867–1934). تم التقاط هذه الصورة فى عام 1911، عندما حصلت كورى على جائزة نوبل الثانية.

مكتبة الكونغرس، قسم المطبوعات والصور الفوتوغرافية [LC-DIG-ggbain-06354]

على الرغم من أن النظائر المختلفة لعنصر ما تظهر سلوكًا كيميائيًا متطابقًا، إلا أنها تختلف فى السلوك الفيزيائى. العديد منها غير مستقرة وتتحلل (تتفكك) إلى نظائر أكثر استقرارًا عن طريق إصدار الإشعاع. لذلك تُسمى النظائر غير المستقرة النظائر المشعة، وتسمى عملية التحلل الإشعاعية (انظر التعمق 2.1). لكل عنصر على الأقل نظير مشع واحد. على سبيل المثال، يحتوى الأكسجين على ثلاثة نظائر مستقرة وخمسة نظائر مشعة. كلنا نحتوى على نظائر مشعة مثل ^{14}C و ^{40}K — أى أننا جميعًا مشعّون بشكل خفيف!

الإشعاع عالى الطاقة، مثل ذلك المنبعث من النظائر المشعة، يقذف الإلكترونات من ذرات أخرى، محولًا الذرات إلى أيونات؛ لذلك يُسمى الإشعاع المؤين. يدمر الجزيئات وينتج جذورًا حرة وأيونات خطيرة فى أنسجة الإنسان. بجرعات عالية، يكون الإشعاع المؤين قاتلًا بسرعة. وبجرعات أقل، يمكن أن يكون مُطفرًا (يسبب طفرات فى الحمض النووى) ومُسرطنًا (يحفز السرطان نتيجة الطفرة).

أمثلة على الإشعاع المؤين تشمل الأشعة فوق البنفسجية، الأشعة السينية، وثلاثة أنواع من الإشعاع الناتج عن التحلل النووى: *جسيمات ألفا (α)، جسيمات بيتا (β)، وأشعة جاما (γ).* جسيم ألفا يتكون من بروتونين ونيوترونين (ما يعادل نواة الهيليوم)، وجسيم بيتا هو إلكترون حر. جسيمات ألفا كبيرة جدًا بحيث لا تخترق الجلد، وجسيمات بيتا تخترق بضعة مليمترات فقط. هى غير ضارة نسبيًا عندما تنبعث من مصادر خارج الجسم، لكنها خطيرة جدًا عندما تنبعث من نظائر مشعة دخلت الجسم. على سبيل المثال، سترونشيوم-٩٠ (^{90}Sr) تم إطلاقه بسبب الحوادث النووية والاختبارات الجوية للأسلحة النووية.



الشكل 2.3 نظائر الهيدروجين. تختلف النظائر الثلاثة فقط فى عدد النيوترونات الموجودة.

النظائر، مع ذلك: *الديوتيريوم* (^{2}H مع بروتون واحد ونيوترون واحد، و *التريتيوم* (^{3}H مع بروتون واحد ونيوترونين (الشكل 2.3). أكثر من ٩٩٪ من ذرات الكربون لها كتلة ذرية مقدارها ١٢ (٦ بروتونات$^{+}$، ٦ نيوترونات^{0} وتسمى كربون-١٢ (^{12}C)، لكن نسبة صغيرة من ذرات الكربون هى ^{13}C، مع سبعة نيوترونات، و ^{14}C، مع ثمانية. على الرغم من اختلافها فى عدد النيوترونات، إلا أن جميع نظائر العنصر الواحد تتصرف كيميائيًا بنفس الطريقة. على سبيل المثال، الديوتيريوم (^{2}H) يتفاعل مع الأكسجين بنفس طريقة ^{1}H لإنتاج الماء.

الوزن الذرى (الكتلة الذرية النسبية) لعنصر ما يأخذ فى الاعتبار حقيقة أن العنصر هو مزيج من النظائر. إذا كان كل الكربون هو ^{12}C، لكان الوزن الذرى للكربون مساويًا لكتلته الذرية، 12.000. ولكن بما أن عينة الكربون تحتوى أيضًا على كميات صغيرة من النظائر الأثقل ^{13}C و ^{14}C، فإن الوزن الذرى يكون أعلى قليلاً، 12.011.

فى خمسينيات وستينيات القرن العشرين. يستقر على المراعى ويلوث حليب الأبقار. فى الجسم، يتصرف كيميائيًا مثل الكالسيوم، حيث يندمج فى العظام، ويصدر جسيمات بيتا لسنوات. يطلق اليورانيوم والبلوتونيوم أشعة جاما. بسبب قوتها العالية فى الاختراق، فإن هذه الأشعة خطيرة جدًا حتى عندما تصدر من مصادر خارج الجسم.

لكل نظير مشع نصف عمر فيزيائى مميز، وهو الوقت اللازم لتحلل ٥٠٪ من ذراته إلى نظير أكثر استقرارًا. على سبيل المثال، جرام واحد من ٩٠ سترونشيوم سينخفض إلى النصف خلال ٢٨ سنة. بعد ٥٦ سنة، سيبقى ٠.٢٥ جرام، وبعد ٨٤ سنة ٠.١٢٥ جرام، وهكذا. العديد من النظائر المشعة تعيش لفترات أطول بكثير. نصف عمر ٤٠ بوتاسيوم ، على سبيل المثال، هو ١.٣ مليار سنة. تنتج محطات الطاقة النووية مئات النظائر المشعة التى ستظل شديدة النشاط الإشعاعى لمدة لا تقل عن ١٠٠٠٠ سنة — أطول من عمر أى حاوية للتخلص تم تصورها حتى الآن.

النصف عمر البيولوجى للنظير المشع هو الوقت اللازم لاختفاء نصفه من الجسم. يفقد البعض عن طريق التحلل الإشعاعى وحتى المزيد عن طريق الإخراج من الجسم. على سبيل المثال، السيزيوم-١٣٧ له نصف عمر فيزيائى يبلغ ٣٠ سنة ولكن نصف عمر بيولوجى يبلغ فقط ١٧ يومًا. كيميائيًا، يتصرف مثل البوتاسيوم؛ فهو متحرك جدًا ويُطرح بسرعة عن طريق الكلى.

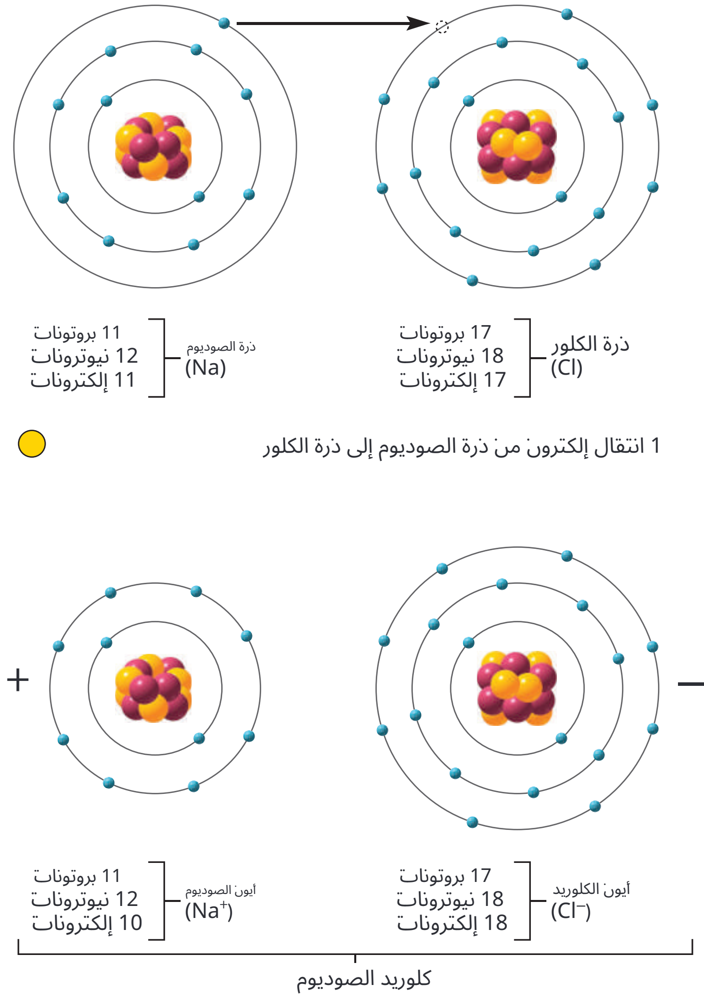
هناك عدة طرق لقياس شدة الإشعاع المؤين، والكمية الممتصة من الجسم، وتأثيراته البيولوجية. لفهم وحدات القياس يتطلب أساسًا فى الفيزياء يتجاوز نطاق هذا الكتاب، لكن الوحدة الدولية القياسية (SI) لجرعة الإشعاع هى السيفرت[3] (Sv)، التى تأخذ فى الاعتبار نوع وشدة الإشعاع وتأثيره البيولوجى. الجرعات التى تبلغ ٥ سيفرت أو أكثر عادة ما تكون قاتلة. يتلقى الشخص العادى فى العالم حوالى ٢.٤ ميلى سيفرت (mSv) سنويًا من الإشعاع الخلفى من المصادر الطبيعية، بالإضافة إلى ٠.٦ mSv من المصادر الصناعية. المصدر الطبيعى الأكثر أهمية هو الرادون، وهو غاز ينتج عن تحلل اليورانيوم فى الأرض؛ يمكن أن يتراكم فى المبانى إلى مستويات غير صحية. تشمل المصادر الصناعية للتعرض للإشعاع الأشعة السينية الطبية، والتصوير المقطعى المحوسب (CT) والتصوير المقطعى بالإصدار البوزيترونى (PET)، والعلاج الإشعاعى، والمنتجات الاستهلاكية مثل أجهزة التلفاز، وكاشفات الدخان، وعدادات الساعات المضيئة. متوسط جرعة التصوير المقطعى المحوسب يتراوح بين ١٠ إلى ٣٠ mSv لفحص كامل الجسم و١٠ mSv لفحص البطن والحوض فقط؛ أما تصوير الثدى الشعاعى (الماموجرام(فيكون بين ٠.٤ إلى ٠.٦ mSv؛ وأشعة الصدر حوالى ٠.١ mSv؛ وأشعة اليد أو القدم حوالى ٠.٠٠١ mSv. يجب النظر إلى هذا التعرض الطوعى من حيث نسبة المخاطر إلى الفوائد. فوائد كاشف الدخان أو الماموجرام تفوق بكثير مخاطر المستويات المنخفضة من الإشعاع المتضمنة. ومع ذلك، يواجه أخصائيو العلاج الإشعاعى وأطباء الأشعة مخاطر أكبر من مرضاهم، كما يتعرض رواد الفضاء وطاقم الطيران التجارى لتعرض أكبر من المتوسط. تحدد المعايير الفيدرالية الأمريكية حدًا أقصى للتعرض المهنى للإشعاع المؤين يبلغ ٥٠ mSv/سنة.

2.1d الأيونات، الإلكتروليتات، والجذور الحرة

الأيونات هى جسيمات مشحونة بعدد غير متساوٍ من البروتونات والإلكترونات. يمكن أن يتكون الأيون من ذرة واحدة ذات شحنة موجبة أو سالبة (مثل Na^+ أو Cl^-)؛ أو مجموعة من الذرات مثل أيونات الفوسفات (PO_4^{3-}) والبيكربونات (HCO_3^-)؛ أو جزيء كبير مثل البروتين الذى يحمل العديد من الشحنات.

تتشكل الأيونات لأن العناصر التى تحتوى على إلكترون إلى ثلاثة إلكترونات فى الغلاف الخارجى تميل إلى التخلى عنها، وتلك التى تحتوى على أربعة إلى سبعة إلكترونات تميل إلى اكتساب المزيد. إذا تعرضت ذرة من النوع الأول إلى ذرة من النوع الثانى، فقد تنتقل الإلكترونات من واحدة إلى الأخرى وتتحول كلتاهما إلى أيونات. تُسمى هذه العملية *التأين*. الجسيم الذى يكتسب الإلكترونات يحصل على شحنة سالبة ويُسمى الأنيون (AN-eye-on). أما الذى يفقد الإلكترونات فيكتسب شحنة موجبة (لأنه يصبح لديه فائض من البروتونات(ويُسمى الكاتيون (CAT-eye-on). يحدث هذا، على سبيل المثال، عندما يلتقى الصوديوم والكلور (الشكل ٢.٤). ينتقل إلكترون واحد من الصوديوم إلى الكلور، مما ينتج أيون صوديوم بشحنة موجبة واحدة (Na^+) وأيون كلوريد بشحنة سالبة واحدة (Cl^-).

بعض العناصر توجد فى شكلين أو أكثر من الأيونات. على سبيل المثال، الحديد له أيونات فيروسى (Fe^{2+}) وفيريك (Fe^{3+}). لاحظ أن بعض الأيونات تحمل شحنة موجبة أو سالبة واحدة، فى حين أن البعض الآخر يحمل



الشكل 2.4 التأين.

[3] رولف ماكسيميليان سيفرت (1896–1966(، أخصائى الأشعة السويدى

مادة كيميائية تحيد الجذور الحرة. على سبيل المثال، ينتج الجسم إنزيمًا يسمى *سوبر أكسيد ديسموتاز (SOD)* يحول الأنيون الفائق الأكسدة إلى أكسجين وبيروكسيد الهيدروجين. السيلينيوم، فيتامين E (α-توكوفيرول)، فيتامين C (حمض الأسكوربيك)، والكاروتينويدات (مثل β-كاروتين) هي بعض مضادات الأكسدة التي يتم الحصول عليها من الطعام الغذائي. تم ربط نقص مضادات الأكسدة في النظام الغذائي بزيادة خطر الإصابة بالنوبات القلبية، العقم، الحثل العضلي، وأمراض أخرى.

2.1e الجزيئات والروابط الكيميائية

الجزيئات هي جزيئات كيميائية تتكون من ذرتين أو أكثر مرتبطة بروابط كيميائية. قد تكون الذرات متطابقة، كما في النيتروجين (N_2)، أو مختلفة، كما في الجلوكوز ($C_6H_{12}O_6$). الجزيئات المكونة من عنصرين أو أكثر تسمى مركبات. الأكسجين (O_2) وثاني أكسيد الكربون (CO_2) كلاهما جزيئات، لأنهما يتكونان من ذرتين على الأقل؛ لكن فقط CO_2 هو مركب، لأنه يحتوي على ذرات من عنصرين مختلفين.

تمثل الجزيئات بواسطة *الصيغ الجزيئية* التي تحدد عناصرها وتوضح عدد الذرات من كل منها. الجزيئات التي لها نفس الصيغة الجزيئية ولكن ترتيب ذراتها مختلف تسمى متصاوغات[4] بعضها البعض. على سبيل المثال، كل من الإيثانول والإيثر الإيثيلي لهما الصيغة الجزيئية C_2H_6O، لكنهما بالتأكيد غير قابلين للتبادل! لإظهار الفرق بينهما، نستخدم *الصيغ التركيبية* التي توضح موقع كل ذرة (الشكل 2.5).

الوزن الجزيئي (MW) للمركب هو مجموع الأوزان الذرية لذراته. بالتقريب إلى أعداد صحيحة، يمكننا حساب الوزن الجزيئي التقريبي للجلوكوز ($C_6H_{12}O_6$)، على سبيل المثال:

٢٧ وحدة كتلة ذرية	=	٢١ وحدة كتلة ذرية لكل منها	×	٦ ذرات كربون
٢١ وحدة كتلة ذرية	=	١ وحدة كتلة ذرية لكل منها	×	٢١ ذرة هيدروجين
٦٩ وحدة كتلة ذرية	=	٦١ وحدة كتلة ذرية لكل منها	×	٦ ذرات أكسجين
٠٨١ وحدة كتلة ذرية	=	الوزن الجزيئي (MW)		

الوزن الجزيئي ضروري لحساب بعض مقاييس التركيز التي ستُناقش لاحقًا (انظر القسم ٢.٢د والملحق ب).

[4] iso = نفس؛ mer = جزء

	الصيغ الهيكلية	الصيغ الهيكلية المكثفة	الصيغ الجزيئية
إيثانول	H–C–C–OH (مع H H أعلى وأسفل كل ذرة كربون)	CH_3CH_2OH	C_2H_6O
إيثيل إيثر	H–C–O–C–H (مع H H أعلى وأسفل كل ذرة كربون)	CH_3OCH_3	C_2H_6O

الشكل 2.5 اثنان من المتصاوغات الهيكلية — الإيثانول والإيثيل إيثر. الصيغ الجزيئية متطابقة، لكن هياكلها وخصائصها الكيميائية وتأثيراتها الفسيولوجية مختلفة.

الجدول 2.2 الشوارد الرئيسية والأيونات المنبعثة بسبب تفككها

الشارد (الملح)		الأيونات الموجبة والسالبة
كلوريد الكالسيوم ($CaCl_2$)	⟶	$Ca^{2+} + 2\,Cl^-$
فوسفات الصوديوم الثنائي (Na_2HPO_4)	⟶	$2\,Na^+ + HPO_4^{2-}$
كلوريد المغنيسيوم ($MgCl_2$)	⟶	$Mg^{2+} + 2\,Cl^-$
كلوريد البوتاسيوم (KCl)	⟶	$K^+ + Cl^-$
بيكربونات الصوديوم ($NaHCO_3$)	⟶	$Na^+ + HCO_3^-$
كلوريد الصوديوم (NaCl)	⟶	$Na^+ + Cl^-$

الشحنات ±2 أو ±3 لأنها تكسب أو تفقد أكثر من إلكترون واحد. تسمى الشحنة على الأيون *التكافؤ*.

الأيونات ذات الشحنات المعاكسة تنجذب إلى بعضها البعض وتميل إلى اتباع بعضها البعض عبر الجسم. لذلك، عندما يتم إفراز Na^+ في البول، يميل Cl^- إلى اتباعه. إن جذب الكاتيونات والأنيونات لبعضها البعض مهم بشكل خاص في إثارة خلايا العضلات والأعصاب، كما سنرى في الفصول اللاحقة.

الأملاح مثل كلوريد الصوديوم (NaCl) وكلوريد الكالسيوم ($CaCl_2$) هي مركبات متعادلة كهربائياً من الكاتيونات والأنيونات. في معظم الحالات المتعلقة بفسيولوجيا الإنسان، فإنها تنفصل بسهولة في الماء إلى أيوناتها الخاصة، وبالتالي تعمل كإلكتروليتات. الإلكتروليتات هي مواد تؤين في الماء (الأحماض، القواعد، أو الأملاح) وتشكل محاليل قادرة على توصيل الكهرباء (الجدول 2.2). يمكننا اكتشاف النشاط الكهربائي للعضلات، القلب، والدماغ باستخدام أقطاب كهربائية على الجلد لأن الإلكتروليتات في سوائل الجسم توصل التيارات الكهربائية من هذه الأعضاء إلى سطح الجلد. الإلكتروليتات مهمة لتفاعلاتها الكيميائية (كما عندما يندمج فوسفات الكالسيوم في العظم)، وتأثيراتها الأسموزية (تأثيرها على محتوى الماء وتوزيعه في الجسم)، والتأثيرات الكهربائية (التي هي ضرورية لوظائف الأعصاب والعضلات). توازن الإلكتروليتات هو أحد أهم الاعتبارات في رعاية المرضى. اختلال توازن الإلكتروليتات له تأثيرات تتراوح من تقلصات العضلات وهشاشة العظام إلى الغيبوبة وتوقف القلب.

الجذور الحرة هي جزيئات كيميائية غير مستقرة وعالية التفاعل تحمل عددًا فرديًا من الإلكترونات. على سبيل المثال، الأكسجين عادة يوجد كجزيء مستقر مكون من ذرتين من الأكسجين، O_2؛ ولكن إذا أضيف إلكترون إضافي، يصبح جذرًا حرًا يسمى الأنيون الفائق الأكسدة، $O_2^{\cdot-}$. تمثل الجذور الحرة بنقطة للدلالة على الإلكترون الفردي.

تنتج الجذور الحرة من بعض التفاعلات الأيضية الطبيعية في الجسم (مثل تفاعلات الأكسدة المنتجة لـ ATP في الميتوكوندريا، وتفاعل يستخدمه بعض خلايا الدم البيضاء لقتل البكتيريا)؛ ومن الإشعاع (مثل الأشعة فوق البنفسجية وأشعة إكس)؛ ومن المواد الكيميائية (مثل النيتريتات، المستخدمة كمادة حافظة في بعض أنواع النبيذ واللحوم والأطعمة الأخرى). هي قصيرة العمر وتتحد بسرعة مع جزيئات مثل الدهون، البروتينات، وDNA، محولة إياها إلى جذور حرة ومحفزة تفاعلات سلسلة تدمر المزيد من الجزيئات. من بين الأضرار التي تسببها الجذور الحرة بعض أنواع السرطان واحتشاء عضلة القلب، وهو موت نسيج القلب. إحدى نظريات الشيخوخة هي أنها تنتج جزئيًا من الضرر الخلوي المستمر الناتج عن الجذور الحرة.

نظرًا لأن الجذور الحرة شائعة ومدمرة للغاية، لدى الجسم آليات طبيعية لتحييدها. مضاد الأكسدة هو

الجدول 2.3	أنواع الروابط الكيميائية
نوع الرابطة	**التعريف والملاحظات**
الرابطة الأيونية	جذب ضعيف نسبيًا بين الأنيون والكتيون. يتعطل بسهولة في الماء، كما يحدث عند ذوبان الملح.
الرابطة التساهمية	مشاركة زوج أو أكثر من الإلكترونات بين النوى.
تساهم أحادي	مشاركة زوج واحد من الإلكترونات.
تساهم ثنائي	مشاركة زوجين من الإلكترونات. يحدث غالبًا بين ذرات الكربون، وبين الكربون والأكسجين، وبين الكربون والنيتروجين.
تساهم غير قطبي	رابطة تساهمية تُجذب فيها الإلكترونات بالتساوي إلى كلا النواتين. قد تكون أحادية أو ثنائية. أقوى نوع من الروابط الكيميا ئية.
تساهم قطبي	رابطة تساهمية تُجذب فيها الإلكترونات أكثر إلى نواة واحدة منها إلى الأخرى، مما يؤدي إلى وجود مناطق موجبة وسالبة ق ليلاً في جزيء واحد. قد تكون أحادية أو ثنائية.
رابطة هيدروجينية	جذب ضعيف بين جزيئات مستقطبة أو بين مناطق مستقطبة في نفس الجزيء. مهم في الطي واللف ثلاثي الأبعاد للجزيئات الكبيرة مثل الحمض النووي (DNA) والبروتينات. يتأثر بسهولة بالتغيرات في د رجة الحرارة ودرجة الحموضة (pH).
قوة فان دير فال	جذب ضعيف ومؤقت ناتج عن اضطرابات عشوائية في سحب الإلكترونات للذرات المجاورة. أضعف الروابط جميعًا بشكل فردي، لكنه يمكن أن يكون له تأثيرات قوية عند تجمعه.

تُحافظ الجزيئات على تماسكها، وتنجذب الجزيئات إلى بعضها ال بعض بواسطة قوى تُسمى الروابط الكيميائية. الروابط ذات الأهمية ا لفسيولوجية الكبرى هي الروابط الأيونية، الروابط التساهمية، روابط ا لهيدروجين، وقوى فان دير فال (الجدول 2.3).

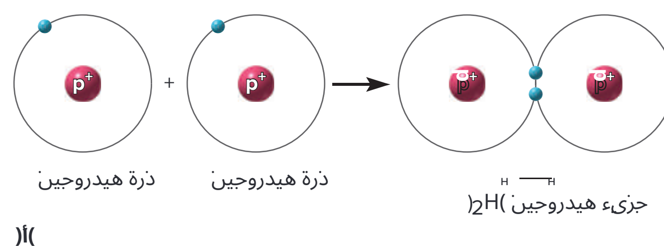
الرابطة الأيونية هي جذب الكاتيون إلى الأنيون. على سبيل المثا ل، أيونات الصوديوم (Na^+) والكلوريد (Cl^-) تنجذب إلى بعضها البع ض وتشكل المركب كلوريد الصوديوم (NaCl)، ملح الطعام الشائع. يم كن أن تتكون المركبات الأيونية من أكثر من أيونين، مثل كلوريد الكال سيوم $CaCl_2$ الروابط الأيونية تنفصل بسهولة (تتفكك) في وجود مادة أكثر جذبًا، مثل الماء. الروابط الأيونية في NaCl تتحلل بسهولة عند ذ وبان الملح في الماء، لأن كل من Na^+ وCl^- ينجذبان إلى جزيئات الم اء أكثر مما ينجذبان إلى بعضهما البعض.

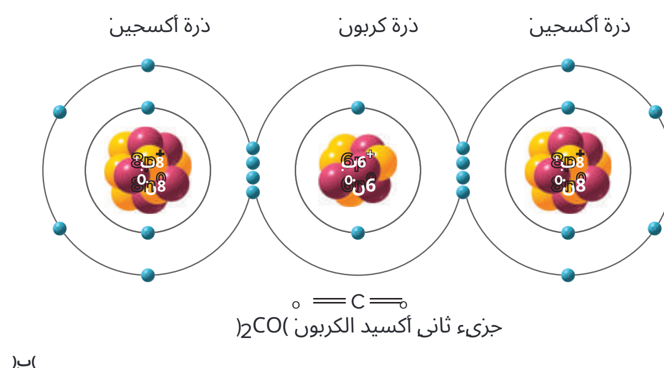
▶▶▶ طبق ما تعرفه

هل تعتقد أن الروابط الأيونية شائعة في سوائل جسم الإنسان؟ فسّر إجابتك.

تتشكل الروابط التساهمية من خلال مشاركة الإلكترونات. على سبيل المثال، يشارك ذرتا الهيدروجين إلكترونات التكافؤ لتشكيل جز يء الهيدروجين H_2 (الشكل 2.6أ). الإلكترونان، واحد من كل ذرة، يدو ران حول النواتين في سحابة على شكل دمبل. الرابطة التساهمية الم فردة هي مشاركة زوج واحد من الإلكترونات. يُرمز إليها بخط واحد بي ن رموز الذرات، مثل H — H. الرابطة التساهمية المزدوجة ه ي مشاركة زوجين من الإلكترونات. في ثاني أكسيد الكربون، على س بيل المثال، تشارك ذرة الكربون المركزية زوجين من الإلكترونات مع كل ذرة أكسجين. يُرمز لمثل هذه الروابط بخطين مزدوجين—مثل O = C = O (الشكل 2.6ب).

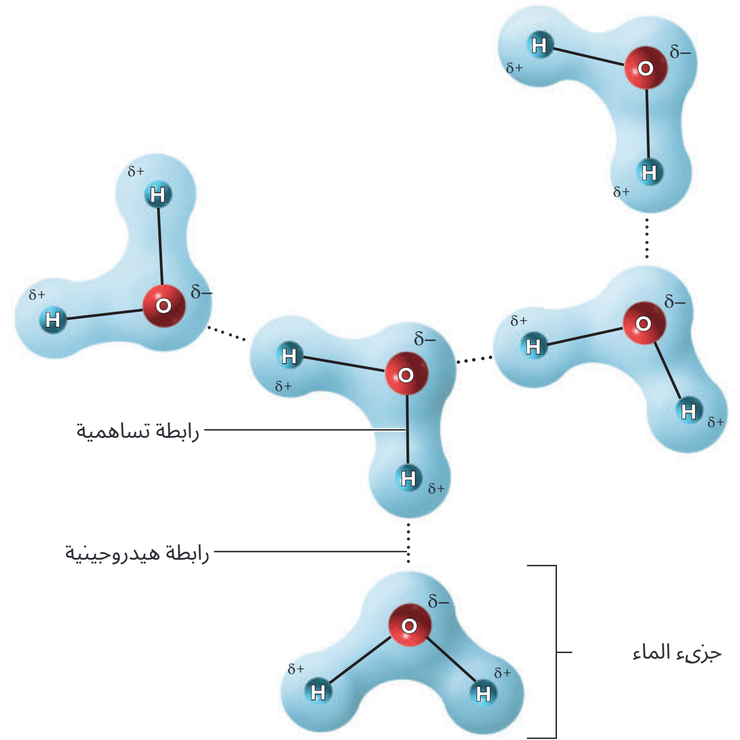
عندما تقضي الإلكترونات المشتركة وقتًا متساويًا تقريبًا حول كل نواة، فإنها تُكوّن رابطة تساهمية غير قطبية (الشكل 2.7أ)، وهي أقوى الروابط الكيميائية جميعًا. ترتبط ذرات الكربون إلى بعضهم البعض بواسطة روابط تساهمية غير قطبية. إذا تم مشاركة الإلكترونات





الشكل 2.6 الترابط التساهمي. (أ) ذرتا هيدروجين تشاركان زوجًا واحدًا من الإلكترونات لتكوين جزيء هيدروجين. (ب) جزيء ثاني أكسيد الكربون، حيث تشارك ذرة الكربون زوجين من الإلك ترونات مع كل ذرة أكسجين، مكونة روابط تساهمية مزدوجة.

يقضون وقتًا أطول بكثير في الدوران حول نواة واحدة مقارنةً بـ عندما يفعل الآخرون ذلك، فإنهم يمنحون شحنتهم السالبة للمنطقة ا لتي يقضون فيها معظم الوقت، ويشكلون رابطة تساهمية قطبية (ال شكل 2.7ب). عندما يرتبط الهيدروجين بالأكسجين، على سبيل المثا ل، تكون الإلكترونات أكثر انجذابًا لنواة الأكسجين وتدور حولها أكثر مم ا تفعل حول الهيدروجين. هذا يجعل منطقة الأكسجين



الشكل 2.8 الترابط الهيدروجينى للماء. تمكن الروابط التساهمية القطبية فى جزيئات الماء كل ذرة أكسجين من تكوين رابطة هيدروجينية مع ذرة هيدر وجين فى جزيء مجاور. وهكذا، تجذب جزيئات الماء بعضها البعض بشكل ضعيف.

لماذا قد يؤدى هذا السلوك إلى رفع نقطة غليان الماء فوق نقطة غليان سائل غير قطبى؟

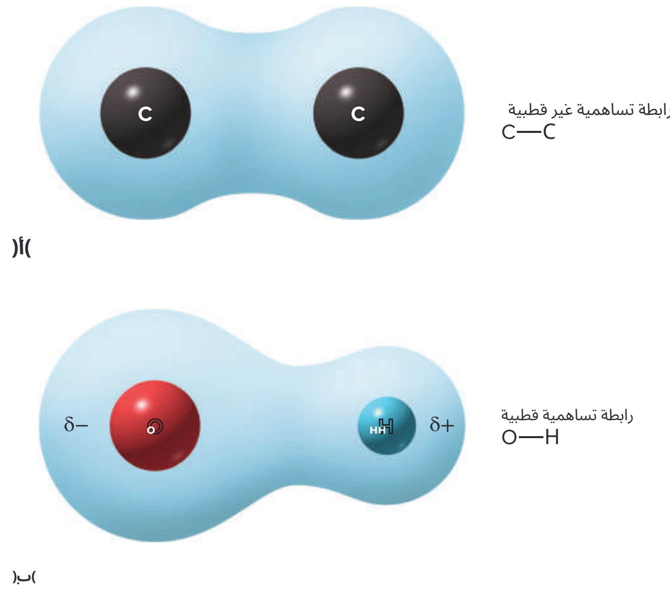
إذا كانت ذرة أخرى قريبة بما فيه الكفاية من هذه الذرة، تستجيب الذر ة الثانية باضطرابات فى سحابة إلكتروناتها الخاصة. ثم تجذب المناط ق ذات الشحنات المعاكسة فى الذرتين بعضها البعض لفترة وجيزة ح دًا.

قوة فان دير فال الواحدة تعادل حوالى 1% فقط من قوة الرابطة ا لتساهمية، ولكن عندما تلتقى سطحان أو جزيئتان كبيرتان، يمكن لقو ى فان دير فال بين عدد كبير من الذرات أن تخلق جذبًا قويًا جدًا. هذه هى الطريقة التى يلتصق بها الغلاف البلاستيكى بالطعام والأطباق، وح تى السحلية الثقيلة مثل الوزغة يمكنها المشى على زجاج النافذة.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

1. اعتبر الحديد)Fe(، غاز الهيدروجين)H_2(، والأمونيا)NH_3(. أى منها ذرات؟ وأى منها جزيئات؟ وأى منها مركبات؟ اشرح كل إجا بة.
2. لماذا يكون العمر النصفى البيولوجى للنظير المشع أقصر من عمره ا لنصفى الفيزيائى؟
3. من أين تأتى الجذور الحرة؟ وما الضرر الذى تسببه؟ كيف يتم حماية الجسم من الجذور الحرة؟



الشكل 2.7 الروابط التساهمية غير القطبية والقطبية.)أ(رابطة تساه مية غير قطبية بين ذرتى كربون، تتشكل بواسطة إلكترونات تقضى وق تًا متساويًا حول كل نواة، كما هو ممثل بالسحابة الزرقاء المتماثلة.)ب(ر ابطة تساهمية قطبية، حيث تدور الإلكترونات حول نواة واحدة أكثر بكثير م ن الأخرى، كما هو ممثل بالسحابة غير المتماثلة.

ينتج عن ذلك شحنة سالبة طفيفة)δ−(فى المنطقة التى تقضى فيها الإلكترونات معظم وقتها، وشحنة موجبة طفيفة)δ+(عند القطب الآخر.

جعلت جزيءً ما سالبًا قليلاً ومنطقة الهيدروجين موجبة قليلاً. يُستخد م الحرف اليونانى دلتا)δ(لتمثيل شحنة أقل من شحنة إلكترون أو برو تون واحد. المنطقة السالبة قليلاً فى الجزيء تُرمز إليها بـ δ− والمنطقة الموجبة قليلاً تُرمز إليها بـ δ+.

الرابطة الهيدروجينية هى جذب ضعيف بين ذرة هيدروجين موج بة قليلاً فى جزيء ما وذرة أكسجين أو نيتروجين سالبة قليلاً فى جزيء آخر. على سبيل المثال، تجذب جزيئات الماء بعضها البعض بشكل ضعيف بواسطة الروابط الهيدروجينية)الشكل 2.8(.
تشكل روابط الهيدروجين أيضًا بين مناطق مختلفة من نفس الجزيء، خاصة فى الجزيئات الكبيرة جدًا مثل البروتينات وDNA. تتسبب هذه الروابط فى طى أو لف هذه الجزيئات إلى أشكال ثلاثية الأبعاد دقيقة. تمثل روابط الهيدروجين بخطوط منقطة أو متقطعة بين الذرات: —C =H···O—N—. روابط الهيدروجين ضعيفة نسبيًا بشكل فردى، لكنها تمتلك تأثيرًا جماعيًا قويًا وهى مهمة للغاية فى علم وظائف الأعضاء.

قوى فان دير فال[5] مهمة فى طى البروتينات، وربط البروتينات بـ بعضها البعض وبجزيئات أخرى مثل الهرمونات، وترابط جزيئات الدهو ن مع بعضها البعض فى أغشية الخلايا. هى تجاذبات ضعيفة ومؤقتة بين ذرات محايدة. عندما تدور الإلكترونات حول النواة، لا تحافظ على توزيع منتظم بل تظهر تقلبات عشوائية فى الكثافة. إذا ازدحمت الإلك ترونات لفترة وجيزة نحو جانب واحد من الذرة، فإنها تجعل ذلك الجان ب سالبًا قليلاً والجانب الآخر موجبًا قليلاً لفترة قصيرة.

[5]يوهانس ديديريك فان دير فالز)1837–1923(، فيزيائى هولندى

4. كيف يختلف الرابط الأيونى عن الرابط التساهمى؟

5. ما هو الرابطة الهيدروجينية؟ ولماذا تعتمد الروابط الهيدروجينية على و جود الروابط التساهمية القطبية؟

الماء والمخاليط 2.2

نتائج التعلم المتوقعة

عندما تكمل هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. تعريف المخلوط والتمييز بين المخاليط و المركبات؛

ب. وصف الخصائص البيولوجية المهمة للماء؛

ج. عرض كيف تختلف ثلاثة أنواع من المخاليط عن بعضها البعض؛

د. تعريف الحمض و القاعدة وتفسير مقياس الرقم الهيدروجينى (pH)؛ و

هـ. مناقشة بعض الطرق التى يمكن من خلالها التعبير عن تركيز المحلول، وأنواع المعلومات التى يمكننا استخلاصها من وحدات القياس المختلفة.

سوائل أجسامنا هى مخاليط معقدة من المواد الكيميائية. المخلوط يتكون من مواد ممزوجة فيزيائيًا ولكنها ليست مركبة كيميائيًا؛ حيث يحتفظ كل مادة بخصائصها الكيميائية الخاصة. للمقارنة بين المخلوط والمركب، فكر مرة أخرى فى كلوريد الصوديوم. الصوديوم معدن خفى ف الوزن يشتعل عند ملامسته للماء، والكلور هو غاز سام أصفر-أخضر كان يُستخدم سابقًا فى الحروب الكيميائية. عندما تتفاعل هذه العنا صر كيميائيًا، فإنها تشكل ملح الطعام الشائع. من الواضح أن المركب له خصائص تختلف كثيرًا عن خصائص عناصره. ولكن إذا وضعت قل يلًا من الملح على الشمام، فإن الشمام سيبدو مالحًا وحلوًا لأن سكر ال شمام والملح الذى أضفته سيشكلان مجرد مخلوط يحتفظ فيه كل مر كب بخصائصه الفردية.

2.2أ الماء

تتكون معظم الخلائط فى الجسم من مواد كيميائية مذابة أو معلقة ف ى الماء. يشكل الماء من 50% إلى 75% من وزن الجسم، اعتمادًا على العمر والجنس ومحتوى الدهون وعوامل أخرى. على الرغم من بساطة تركيبه، إلا أن له تأثيرات بيولوجية عميقة. هناك جانبان مهمان فى تركيبه: (1) ترتبط ذراته بروابط تساهمية قطبية، و(2) الجزىء على ش كل حرف V بزاوية ارتباط تبلغ 105° (الشكل 2.9أ). هذا يجعل الجزىء ككل قطبيًا، لأن هناك شحنة سالبة طفيفة (δ-) على الأكسجين عند ق مة حرف V وشحنة موجبة طفيفة (δ+) على كل ذرة هيدروجين. مثل ا لمغناطيسات الصغيرة، تجذب جزيئات الماء بعضها البعض بواسطة روابط هيدروجينية (الشكل 2.8). هذا يمنح الماء مجموعة من الخصائ ص التى تفسر قدرته على دعم الحياة: الذوبانية، التماسك، الالتصاق، التفاعل الكيميائى، والثبات الحرارى.

الذوبانية هى القدرة على إذابة مواد كيميائية أخرى. يُطلق على الم اء اسم "المذيب العالمى" لأنه يذيب مجموعة أوسع من المواد مقارنة بأى سائل آخر. المواد التى تذوب فى الماء، مثل السكر، تُسمى محبة للماء (hydrophilic)؛ أما القليل من المواد التى لا تذوب، مثل الدهو ن، فهى كارهة للماء (hydrophobic).

الكارهة للماء (hydrophobic). تعتمد عمليًا جميع التفاعلات الأيضية على ذوبانية الماء. يجب أن تذوب الجزيئات البيولوجية فى الماء لتتح رك بحرية، وتتجمع، وتتفاعل. كما تجعل ذوبانية الماء منه الوسيلة الأ ساسية فى الجسم لنقل المواد من مكان إلى آخر.

لكى يكون الجزىء قابلًا للذوبان فى الماء، يجب أن يكون عادةً قط بيًا أو مشحونًا بحيث يمكن لشحناته التفاعل مع شحنات الماء. عندما يُلقى NaCl فى الماء، على سبيل المثال، تُغلب الروابط الأيونية بين Na+ وCl- بجذب كل أيون لجزيئات الماء. تشكل جزيئا ت الماء كتلة، أو "كرة ترطيب"، حول كل أيون صوديوم بحيث تواجه قطب Oδ- لكل جزىء ماء أيون الصوديوم. كما تشكل كرة ترطيب حو ل كل أيون كلوريد، بحيث تواجه قطب Hδ+ الأيون. هذا يعزل أيونات الصوديوم عن أيونات الكلوريد ويحافظ على ذوبانها (الشكل 2.9ب).

الالتصاق هو ميل مادة للالتصاق بأخرى، فى حين أن التماسك ه و ميل جزيئات نفس المادة للالتصاق ببعضها البعض. يلتصق الماء بأنسجة الجسم ويشكل طبقة ترزيب على الأغشية مثل الجنبة والتامو ر. هذا يقلل الاحتكاك عندما ينقبض الرئتان والقلب ويتمددان ويفركا ن هذه الأغشية. كما أن الماء سائل متماسك جدًا بسبب روابطه الهيد روجينية. لهذا السبب، عندما تسكب الماء، يتجمع فى بركة ويتبخر ب بطء. بالمقابل، إذا سكبت مادة غير قطبية مثل النيتروجين السائل، فإنه يتراقص ويتبخر فى ثوان، مثل قطرة ماء فى مقلاة ساخنة وجافة. هذا لأن جزيئات النيتروجين لا تجذب بعضها البعض، لذا فإن القليل من الحرارة يكفى لتفريقها فى الهواء. يظهر تماسك الماء بوضوح على سطحه، حيث يشكل طبقة مرنة تسمى "طبقة السطح" التى تحافظ ع ليها قوة تسمى "توتر السطح". هذه القوة تجعل الماء يتدلى على شك ل قطرات من صنبور يتسرب ويسير على شكل جداول عرق على الج لد المتعرق. يلعب التماسك دورًا مهمًا فى التنفس.عندما تستنشق، تسحب عضلات بين الأضلاع جدار الصدر للخارج، بما فى ذلك الجنبة الجدارية التى تبطن قفص الأضلاع (انظر الأطلس أ). تتحرك الجنبة الح شوية الرطبة على سطح الرئة معها بسبب التماسك بين طبقات الماء فى كلا الغشائين، وهذا الحركة توسع الرئتين.

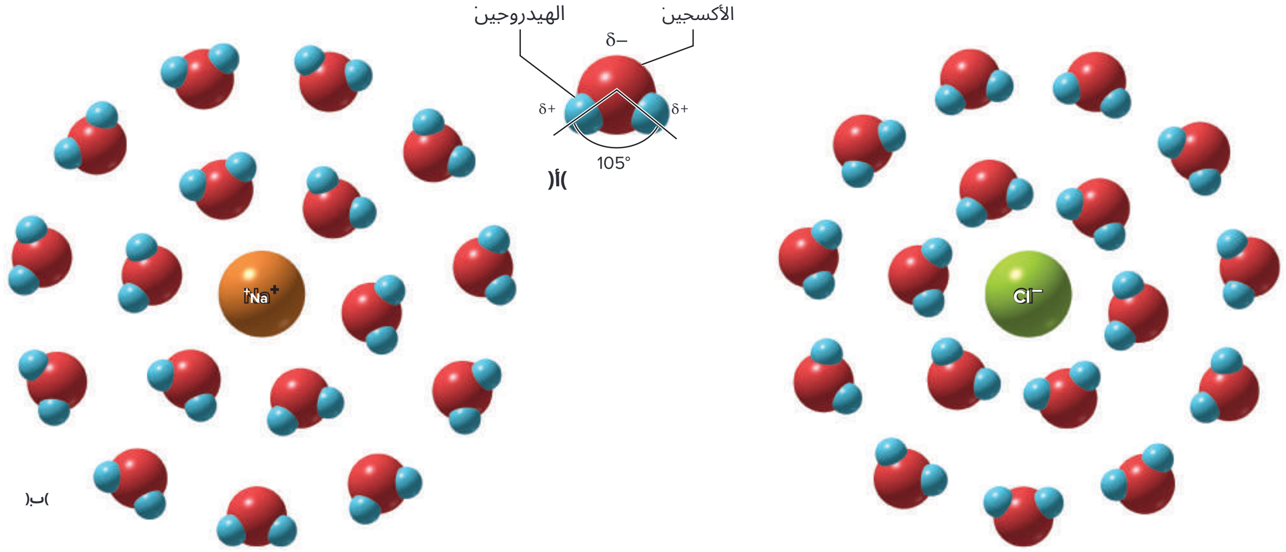
التفاعل الكيميائى للماء هو قدرته على المشاركة فى التفاعلات ا لكيميائية. لا يقتصر الأمر على أن الماء يؤين العديد من المواد الكيميا ئية الأخرى مثل الأحماض والأملاح، بل إن الماء نفسه يؤين إلى H+ و OH-. يمكن دمج هذه الأيونات فى جزيئات أخرى، أو إطلاقه ا منها، خلال التفاعلات الكيميائية مثل التحلل المائى (hydrolysis) و التخليق الجاف (dehydration synthesis) الموضحة لاحقًا فى هذا الفصل.

الثبات الحرارى للماء يساعد على استقرار درجة حرارة الجسم الدا خلية. وينتج ذلك عن السعة الحرارية العالية للماء — وهى كمية الحرار ة المطلوبة لرفع درجة حرارة 1 جرام من المادة بمقدار 1 درجة مئوية. ا لوحدة الأساسية للحرارة هى السعر الحرارى (calorie) — 1 cal هى كمية الحرارة التى ترفع درجة حرارة 1 جرام من الماء بمقدار 1 درجة م ئوية. نفس كمية الحرارة سترفع درجة حرارة مادة غير قطبية مثل النى تروجين بحوالى أربعة أضعاف. يعود الفرق إلى وجود أو غياب الروابط ا لهيدروجينية. لزيادة درجة الحرارة، يجب أن تتحرك جزيئات المادة بن شاط أكبر. تمنع الروابط الهيدروجينية لجزيئات الماء حركتها، لذا يمكن للماء امتصاص

[6] هيدرو = ماء؛ فيليك = محب، منجذب إلى

[7] hydro= ماء؛ phobic= خوف، تجنب

[8] calor = حرارة



الشكل 2.9 الماء وكرات الترطيب.)أ(جزىء ماء يُظهر زاوية الرابطة والقطبية الخاصة به.)ب(تتجمع جزيئات الماء حول أيون الصوديوم بحيث تواجه أقطاب ا لأكسجين السالبة الشحنة Na^+ وتتجمع حول أيون الكلوريد بحيث تواجه أقطاب الهيدروجين الموجبة الشحنة Cl^-.

الكولوديات الأكثر شيوعًا فى الجسم هى مزيج من البروتين والما ء، مثل الألبومين فى بلازما الدم. يمكن للعديد من الكولوديات أن ت تحول من الحالة السائلة إلى حالة الهلام — مثل الحلويات الهلامية، و سط زراعة الأجار، والسوائل داخل وبين خلايانا، على سبيل المثال.
يُعرف الكولويد بالخصائص الفيزيائية التالية:

- تتراوح جسيمات الكولويد بين 1 إلى 100 نانومتر فى الحجم.
- الجسيمات بهذا الحجم تُبعثر الضوء، لذلك تكون الكولويدات عادة ع كرة)الشكل 2.10ب(.
- الجسيمات كبيرة جدًا بحيث لا تمر عبر معظم الأغشية الانتقائ ية النفاذة.
- ومع ذلك، فإن الجسيمات لا تزال صغيرة بما يكفى لتطل مختل طة بشكل دائم مع المذيب عندما يقف الخليط.

خلايا الدم فى بلازما الدم لدينا تمثل مثالًا على تعليق.
تعرف المعلقات بالخصائص التالية:

- تتجاوز الجسيمات المعلقة حجم 100 نانومتر.
- تجعل هذه الجسيمات الكبيرة المعلقات عكرة أو معتمة.
- الجسيمات كبيرة جدًا بحيث لا يمكنها اختراق الأغشية نصف النفاذة بش كل انتقائى.
- الجسيمات ثقيلة جدًا بحيث لا تبقى معلقة بشكل دائم، لذ لك تنفصل المعلقات عند الوقوف. على سبيل المثال، تشك ل خلايا الدم معلقًا فى بلازما الدم وتترسب فى قاع الأنبوب عندما يُترك الدم دون خلط)الشكل 2.10ح، د(.

المستحلب هو معلق لسائل فى آخر، مثل تتبيلة السلطة المكونة من الزيت والخل. الدهون فى حليب الثدى هى مستحلب، وكذلك الأدوية مثل Kaopectate وmilk of magnesia.

كولو = غراء؛ ويد = مثل، يشبه

كمية معينة من الحرارة دون تغيير درجة الحرارة)حركة الجزيئات(بنف س القدر.
القدرة الحرارية العالية للماء تجعله أيضًا مبردًا فعالًا جدًا. عندما ى تحول من سائل إلى بخار، يحمل الماء كمية كبيرة من الحرارة معه. ت بخر ملليلتر واحد من العرق من الجلد يزيل حوالى ٥٠٠ كال من حرارة ا لجسم. هذا التأثير واضح جدًا عندما تكون متعرقًا وتقف أمام مروحة أو فى نسيم بارد.

 طبق ما تعرفه
لماذا الحرارة ودرجة الحرارة ليستا نفس الشيء؟

٢.٢ب المحاليل، الغرويات، والمعلقات

يمكن تصنيف خلطات المواد الأخرى فى الماء إلى *محاليل، غرويات، ومعلقات.*
المحلول يتكون من جزيئات مادة تسمى المذاب مختلطة مع ماد ة أكثر وفرة)عادة الماء(تسمى المذيب. يمكن أن يكون المذاب غازًا أو صلبًا أو سائلًا — كما فى محلول الأكسجين، كلوريد الصوديوم، أو الك حول فى الماء، على التوالى. تُعرف المحاليل بالخصائص التالية:

- جزيئات المذاب أقل من ١ نانومتر)ن م(فى الحجم. لذلك لا يم كن تمييز المذاب والمذيب بصريًا عن بعضهما البعض، حتى با ستخدام المجهر.
- هذه الجسيمات الصغيرة لا تُبعثر الضوء بشكل ملحوظ، لذلك تكون المحاليل عادة شفافة)الشكل 2.10أ(.
- يمكن لجسيمات المذاب المرور عبر معظم الأغشية الانتقا ئية النفاذة، مثل أنابيب الغسيل الكلوى وأغشية الخلايا.
- لا ينفصل المذاب عن المذيب عندما يُترك المحلول ليقف.

يمكن لمزيج واحد أن ينتمى إلى أكثر من فئة من هذه الفئات. الد
م مثال مثالى—فهو محلول كلوريد الصوديوم، وكولويد من البروتين، و
تعليق من الخلايا. الحليب هو محلول من الكالسيوم، وكولويد من البر
وتين، ومستحلب من الدهون.
الجدول 2.4 يلخص أنواع الخلائط ويقدم أمثلة إضافية.

2.2ح الأحماض والقواعد ودرجة الحموضة)pH(

معظم الناس لديهم فكرة عامة عما هى الأحماض والقواعد. الإعلانات
مليئة بالإشارات إلى زيادة حمض المعدة وشامبو متوازن الحموضة)p
H(. نعلم أن منظف المصارف)قاعدة قوية(وحمض البطارى
ة يمكن أن يسببا حروقًا كيميائية خطيرة. لكن ماذا تعنى بالضبط كلم
تا "حمضى" و"قاعدى"، وكيف يمكن قياسهما؟
الحمض هو أى مانح بروتون، جزىء يطلق بروتون)H^+(فى الماء.
القاعدة هى مستقبل للبروتون. بما أن أيونات الهيدروكسيد)OH^- (ت
ستقبل H^+، فإن العديد من القواعد هى مواد تطلق أيونات الهيدروك
سيد—مثل هيدروكسيد الصوديوم)NaOH(. ومع ذلك، لا يجب أن
تكون القاعدة مانحة للهيدروكسيد. الأمونيا)NH_3(هى أيضًا قاعدة. فه
ى لا تطلق أيون هيدروكسيد، لكنها تستقبل أيون هيدروجين بسهولة
لتصبح أيون الأمونيوم)NH_4^+(.
يُعبر عن الحموضة بمصطلح pH، وهو مقياس مشتق من مولار
ية H^+. المولارية)الموضحة فى القسم التالى(يُرمز لها بالأقواس المر
بعة، لذا فإن مولارية H^+ تُرمز إليها بـ $[H^+]$.
درجة الحموضة)pH(هى اللوغاريتم السالب لتركيز أيونات الهيدروجين، أ
ى $pH = -\log [H^+]$. فى الماء النقى، يتأين جزىء واحد من كل عشرة ملا
يين إلى أيونات الهيدروجين والهيدروكسيد: $H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$. (The
يشير إلى تفاعل كيميائى عكسى.(الماء النقى يحتوى على $\rightleftharpoons$ رمز
درجة حموضة متعادلة لأنها تحتوى على كميات متساوية من H^+ و OH^- .
نطرًا لأن 1 من كل 10 ملايين جزىء يتأين، فإن مولارية H^+ و

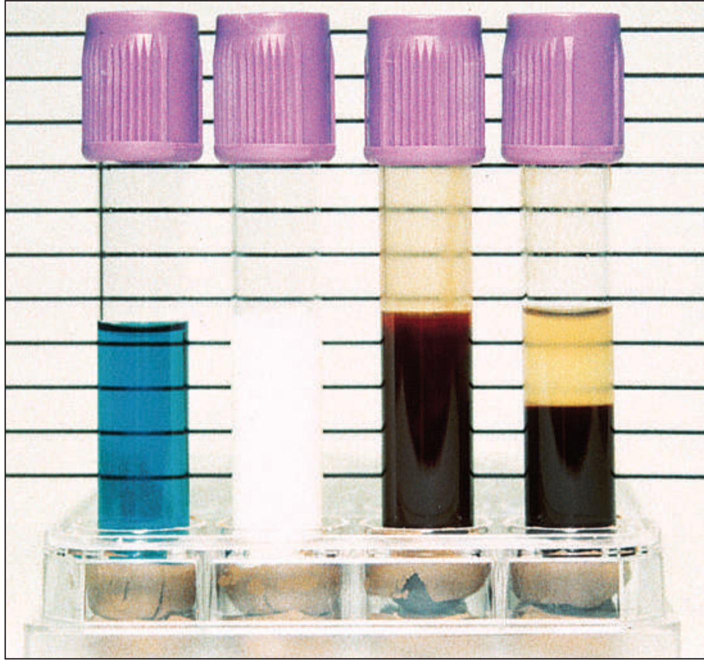
درجة الحموضة)pH(للماء هى

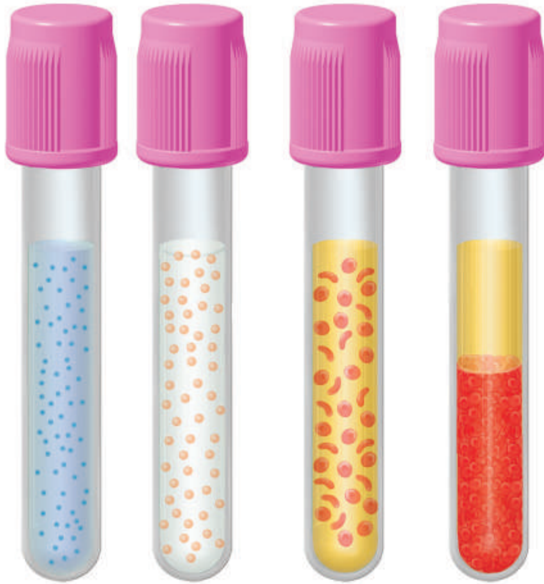
$$[H^+] = 0.0000001 \text{ مولار} = 10^{-7} M;$$
$$\log[H^+] = -7; \text{ و}$$
$$pH = -\log[H^+] = 7.$$

تم اختراع مقياس الرقم الهيدروجينى)الشكل 2.11(فى عام 1909 بواسطة ال
كيميائى الحيوى والدنماركى صانع الجعة سورين سورينسن لقياس حموضة الجعة.
يمتد المقياس من 0.0 إلى 14.0. المحلول الذى له درجة حموضة)pH(تساوى 7.0
هو محايد؛ المحاليل التى تكون درجة حموضتها أقل من 7 هى حمضية؛ والمحاليل ا
لتى تكون درجة حموضتها أعلى من 7 هى قاعدية)قلوية(. كلما انخفضت قيمة pH، ز
اد عدد أيونات الهيدروجين فى المحلول وزادت حموضيته. وبما أن مقياس pH هو م
قياس لوغاريتمى، فإن التغير بمقدار رقم كامل واحد على المقياس يمثل تغيرًا بمقدار
10 أضعاف فى تركيز H^+. بمعنى آخر، المحلول الذى له pH يساوى 4 هو أكثر حمض
ية بعشرة أضعاف من المحلول الذى له pH يساوى 5 وأكثر حمضية بمئة ضعف من ا
لمحلول الذى له pH يساوى 6.
يمكن أن تؤدى الاضطرابات الطفيفة فى الرقم الهيدروجينى إلى تعطيل الوظائ
ف الفسيولوجية بشكل خطير وتغيير تأثيرات الأدوية)انظر التعمق 2.2(، لذلك من ال
مهم أن يتحكم الجسم بدقة فى الرقم الهيدروجينى الخاص به. على سبيل المثال، يح
توى الدم عادةً على رقم هيدروجينى يتراوح بين 7.35 و7.45. الانحرافات عن هذا النط
اق تسبب الرعشات، والإغماء، والشلل، أو حتى الموت. تُسمى المحاليل الكيميائية ا
لتى تقاوم التغيرات فى الرقم الهيدروجينى **buffers.** يتم تناول العوامل المانعة للتغيرا
ت وتوازن الحمض والقاعدة بالتفصيل فى الفصل 24.

طبق ما تعرفه

درجة الحموضة 7.20 هى قلوية قليلاً، ومع ذلك فإن درجة حموضة الدم 7.20 تُسمى
الحُماض. لماذا تعتقد أنه يُطلق عليها هذا الاسم؟





الشكل 2.10 محلول، غروانى، وتعليق. الصف العلوى: صور لمحلول تم
ثيلى، غروانى، وتعليق. الصف السفلى: تمثيل رمزى لأحجام الجس
يمات فى كل خليط.)أ(فى محلول كبريتات النحاس، جسيمات المذاب
صغيرة جداً بحيث تبقى مختلطة بشكل دائم والمحلول شفاف.)ب(فى ا
لحليب، جزيئات البروتين صغيرة بما يكفى لتبقى مختلطة بشكل دائم،
لكنها كبيرة بما يكفى لتشتت الضوء، لذا الخليط معتم.)ح(فى الدم، خلايا ا
لدم الحمراء تشتت الضوء وتجعل الخليط معتماً.)د(خلايا الدم الحمراء كبير
ة جداً بحيث لا تبقى مختلطة بشكل متساو، لذا تستقر فى القاع كما فى
عينة الدم هذه التى بقيت طوال الليل.

أعلى: كينيث س. سالادين

الجدول 2.4 أنواع الخلائط

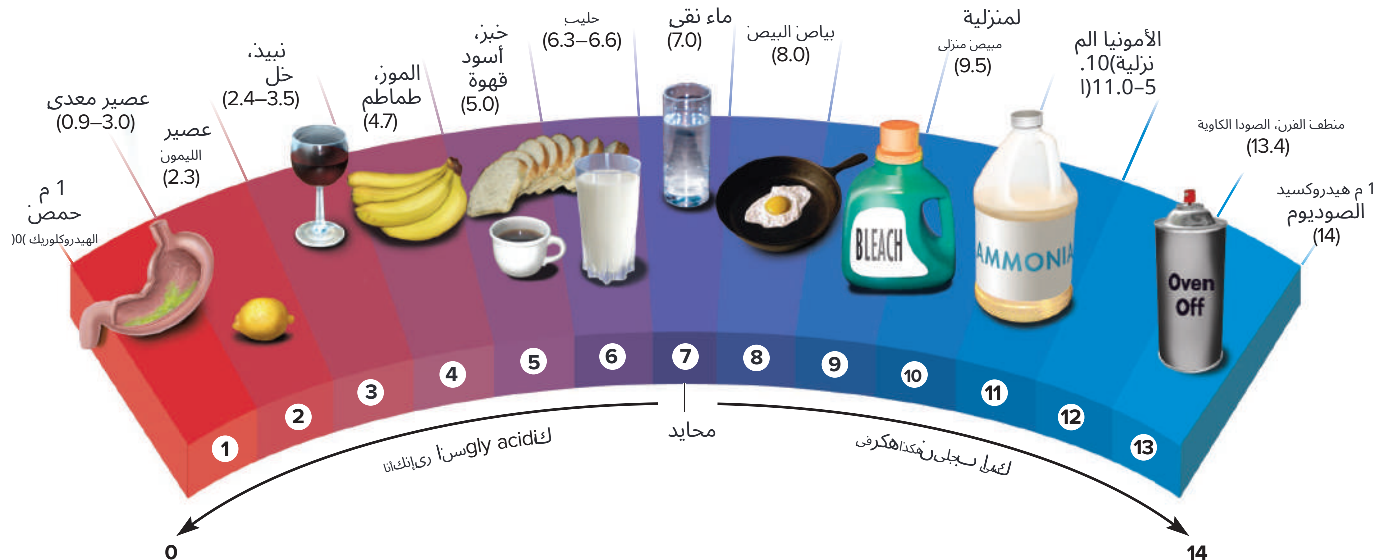
	محلول	غرواني	تعليق
حجم الجسيمات	<1 نانومتر	1–100 نانومتر	>100 نانومتر
المظهر	شفاف	غالبًا ما يكون غائمًا	غائم-معتم
هل ستترسب الجسيمات؟	لا	لا	نعم
هل ستمر الجسيمات عبر غشاء انتقائى النفاذ؟	نعم	لا	لا
أمثلة	الجلوكوز فى الدم الأكسجينO_2 فى الماء محاليل ملحية السكر فى القهوة	البروتينات فى الدم السائل داخل الخلايا بروتين الحليب الجيلاتين	خلايا الدم نشا الذرة فى الماء الدهون فى الدم كاويبكاتات

- المولارية. المول الواحد من مادة كيميائية هو عدد الغرامات ا لتى تساوى وزنها الجزيئى، والمولارية)M(هى مقياس لعدد مو لات المذاب لكل لتر من المحلول. هذا يعكس ليس فقط وزن المذاب فى المحلول، بل عدد الجزيئات لكل حجم. عدد ال جزيئات، وليس وزنها الكلى، هو الذى يحدد التأثير الفسيولوج ى للمحلول، لذا فإن المولارية غالبًا ما تكون المقياس الأك ثر معنىً للتركيز. عادةً ما يتم قياس سوائل الجسم بتركيزات ميليمولارية)mM(، لأنها أقل بكثير من 1 مولار.
- الميلى مكافئات لكل لتر. تُستخدم هذه الوحدة)المعبر عنها m Eq/L(للدلالة على تركيز الإلكتروليتات؛ حيث تأخذ فى الاعتبار ليس فقط التركيز الميليمولارى للم ذاب ولكن أيضًا الشحنة الكهربائية على جزيئاته. هذا مهم لعم ليات مثل إطلاق الأعصاب، نبضات القلب، وانقباضات الع ضلات، التى تحركها الطواهر الكهربائية. تركيز mEq/L للإلك تروليتات مهم جدًا عند إعطاء السوائل الوريدية.

2.2د مقاييس أخرى للتركيز

غالبًا ما يتم وصف المحاليل من حيث تركيزها— كمية المذاب الموجودة فى حجم معين من المحلول. يتم التعبير عن التركيز بطرق مختلفة لأغراض مختلفة، موضحة بإيجاز هنا ومفسرة بشكل أكثر تفصيلاً فى الملحق ب.

- الوزن لكل حجم. هذا هو وزن المذاب)مثل الغرامات، g، أو الم ليغرامات، mg) فى حجم معين من المحلول)مثل اللترات، L، أ و الديسيلترات، dL(. على سبيل المثال، تركيز الكوليسترول فى المصل النموذجى هو 200 mg/dL.
- النسبة المئوية. هذا هو وزن المذاب كنسبة مئوية من حجم ال محلول)الوزن لكل حجم، w/v(أو حجم سائل كنسبة مئوية م ن إجمالى حجم المحلول)الحجم لكل حجم، v/v(. على سبيل ا لمثال، السائل الوريدى الشائع هو D5W، والذى يعنى 5% w/v من الجلوكوز فى الماء المقطر. يُستخدم الإيثانول غالبًا كمحلول 70% v/v.



الشكل 2.11 مقياس الرقم الهيدروجينى والقيمة التقريبية للرقم الهيدروجينى لبعض المواد المنزلية المألوفة. يُطهر الرقم الهيدروجينى داخل الدوائر البيضاء. تركيز المولارية H^+ يزداد 10 أضعاف مع كل خطوة نزول فى المقياس.

نظرة أعمق 2.2

التطبيق السريرى

درجة الحموضة وتأثير الدواء

لـ pH سوائل الجسم تأثير مباشر على كيفية تفاعل الشخص مع الأدوية. اعتمادًا ع لى قيمة pH، يمكن أن توجد أدوية مثل الأسبرين، الفينوباربيتال، والبنسلين فى أ شكال مشحونة)مؤينة(أو غير مشحونة. ما إذا كان الدواء مشحونًا أم لا يمكن أن ى حدد ما إذا كان سيمر عبر أغشية الخلايا. على سبيل المثال، عندما يكون الأسبرين فى البيئة الحمضية للمعدة، يكون غير مشحون ويمر بسهولة عبر بطانة المعدة إلى مجرى الدم. هنا يواجه pH قاعدى، مما يؤدى إلى تأينه. فى هذه الحالة، لا يستطيع المرور مرة أخرى عبر الغشاء، لذا يتراكم فى الدم. يُسمى هذا التأثير احتجاز الأيونا ت)تقسيم pH(، ويمكن التحكم فيه للمساعدة فى إزالة السموم من الجسم. على سبيل المثال، يمكن تعديل pH البول بحيث تُحتجز السموم هناك وتُطرح من الج سم بشكل أسرع.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

6. ما الفرق بين الخليط والمركب؟
7. ما هى المواد المحبة للماء)الهايدروفيلية(والمواد الكارهة للماء)الهايدروفوبية(؟ أ عطِ مثالاً على كل منهما.
8. لماذا سيكون التماسك والثبات الحرارى للماء أقل إذا لم يكن للماء روابط تساهمية قطبية؟
9. كيف تختلف المحاليل، والمعلقات الغروية، والمعلقات عن بع ضها البعض؟ أعطِ مثالاً على كل منها فى جسم الإنسان.
10. إذا كان تركيز H^+ فى المحلول A هو 10^{-8} م، ما هو الرقم الهيدروج ينى)pH(له؟ وإذا كان تركيز H^+ فى المحلول B أكبر بمقدار 1000 مرة، ما هو الرقم الهيدروجينى له؟ هل سيكون المحلول A حمضيًا أم قاعديًا؟ وماذا عن المحلول B؟
11. ما المعلومات التى يمكننا الحصول عليها من المولارية)molarity(لمحلول والتى لا يمكن معرفتها من تركيزه النسبى)percentage concentration(؟ وما الذى نعرفه من تركيز بوحدة mEq/L ولا يمكن معرفته من المولارية فقط؟

الطاقة والتفاعلات الكيميائية 2.3

نتائج التعلم المتوقعة

عندما تكمل هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. تعريف الطاقة والعمل، ووصف بعض أنواع الطاقة؛

ب. فهم كيفية تمثيل التفاعلات الكيميائية بواسطة المعادلات الك يميائية؛

ج. سرد وتعريف الأنواع الأساسية للتفاعلات الكيميائية؛

د. تحديد العوامل التى تتحكم فى سرعة واتجاه التفاعل؛

هـ. تعريف الأيض وتقسيمه الفرعى؛ و

و. تعريف الأكسدة و الاختزال وربطهما بالتغيرات فى مح توى الطاقة للجزىء.

2.3أ الطاقة والعمل

الطاقة هى القدرة على أداء العمل. وأداء العمل يعنى تحريك شىء م ا، سواء كان عضلة أو جزىء. بعض أمثلة العمل الفسيولوجى هى كسر الروابط الكيميائية، بناء الجزيئات، ضخ الدم، وانقباض العضلات الهى كلية. جميع أنشطة الجسم هى أشكال من العمل.

تصنف الطاقة بشكل عام إلى *طاقة كامنة* أو *طاقة حركية*. *الطاقة الكامنة* هى الطاقة المحتواة فى جسم بسبب موقعه أو حالته ا لداخلية لكنها لا تقوم بالعمل فى الوقت الحالى. *الطاقة الحركية* هى طاقة الحركة، الطاقة التى تقوم بالعمل. نُلاحظ فى حركات الجهاز العضلى الهيكلى، تدفق الأيونات إلى الخلية، واهتزاز ط بلة الأذن، على سبيل المثال. الماء خلف السد يمتلك طاقة كامنة بس بب موقعه. إذا سمح للماء بالتدفق، فإنه يظهر طاقة حركية يمكن الا ستفادة منها لتوليد الكهرباء. مثل الماء خلف السد، الأيونات المركزة على جانب واحد من غشاء الخلية تمتلك طاقة كامنة يمكن إطلاقها ب فتح البوابات فى الغشاء. وعندما تتدفق الأيونات عبر البوابات، يمكن الاستفادة من طاقتها الحركية لإنشاء إشارة عصبية أو جعل القلب ين بض.

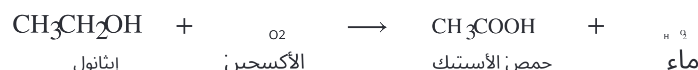
ضمن الفئتين الواسعتين للطاقة الكامنة والطاقة الحركية، هناك عدة أشكال من الطاقة ذات صلة بالفسيولوجيا البشرية. *الطاقة الكيم يائية* هى طاقة كامنة مخزنة فى روابط الجزيئات. تُطلق التفاعلات الك يميائية هذه الطاقة وتجعلها متاحة للعمل الفسيولوجى. *الحرارة* هى ا لطاقة الحركية لحركة الجزيئات. درجة حرارة المادة هى مقياس لمعدل هذه الحركة، وإضافة الحرارة إلى المادة يزيد من حركة الجزيئات. *الطا قة الكهرومغناطيسية* هى الطاقة الحركية لكمات)"حزم"(الإشعاع الم تحركة التى تُسمى *الفوتونات*. الشكل الأكثر شيوعًا للطاقة الكهرومغنا طيسية هو الضوء. *الطاقة الكهربائية* لها أشكال كامنة وحركية. تكون طاقة كامنة عندما تتجمع الجسيمات المشحونة فى نقطة مثل طرف ا لبطارية أو على جانب واحد من غشاء الخلية؛ وتتحول إلى طاقة حركية عندما تبدأ هذه الجسيمات فى الحركة وتُحدث تيارًا كهربائيًا — على سبيل المثال، عندما تتحرك الإلكترونات عبر أسلاك منزلك أو تتحرك أيونات الصوديوم عبر غشاء الخلية.

الطاقة الحرة هى الطاقة الكامنة المتاحة فى النظام لأداء عمل م فيد. فى علم وظائف الأعضاء البشرى، أكثر أنواع الطاقة الحرة صلة ه ى الطاقة المخزنة فى الروابط الكيميائية للجزيئات العضوية.

٣.٢ب فئات التفاعلات الكيميائية

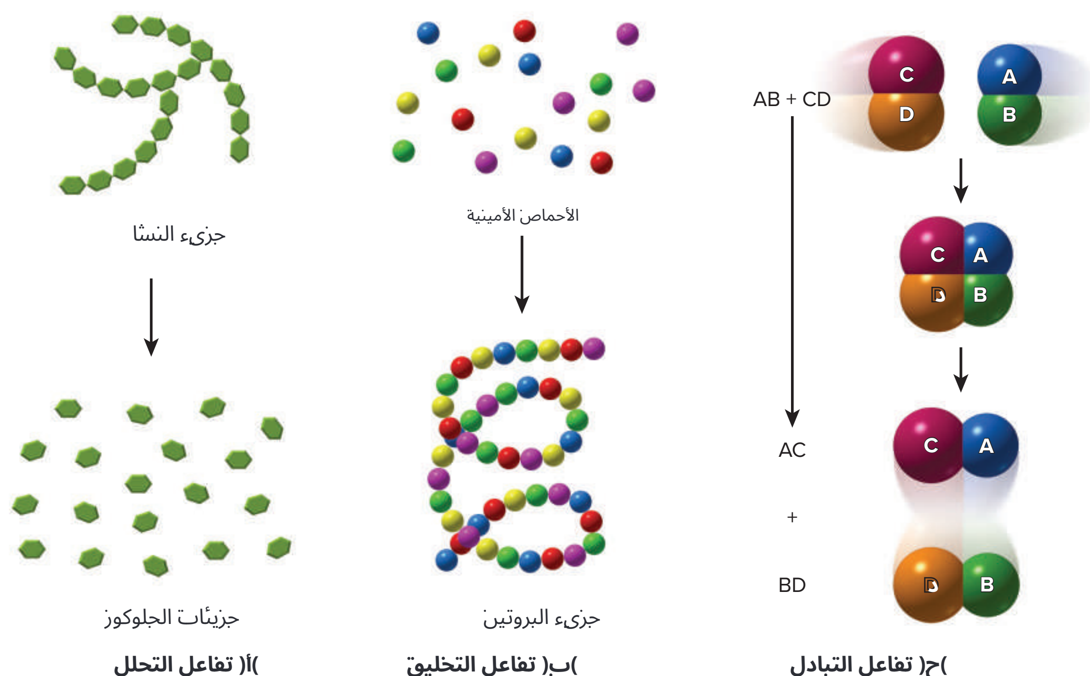
التفاعل الكيميائى هو عملية يتم فيها تكوين أو كسر رابطة تساهمية أو أيونية. يتم تمثيل مسار التفاعل الكيميائى بواسطة معادلة كيميائية تُظهر عادةً المتفاعلات على اليسار، و النواتج على اليمين، وسهم ى شير من المتفاعلات إلى النواتج. على سبيل المثال، اعتبر هذا الحدو ث الشائع: إذا فتحت زجاجة نبيذ وتركتها لعدة أيام، فإنها تصبح حام ضة. يتحول النبيذ إلى "خل" لأن الأكسجين يدخل الزجاجة ويتفاعل م ع الإيثانول لإنتاج حمض الأسيتيك والماء. يعطى حمض الأسيتيك ال طعم الحامض للخل والنبيذ الفاسد.

معادلة هذا التفاعل هى



$$CH_3CH_2OH + O_2 \longrightarrow CH_3COOH + H_2O$$

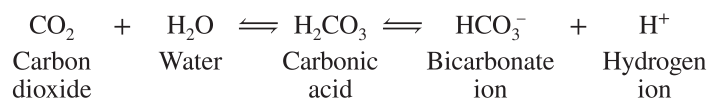
إيثانول الأكسجين حمض الأسيتيك ماء



الشكل 2.12 تفاعلات التحلل، والتخليق، والتبادل.)أ(في تفاعل التحلل، يتم تفكيك الجزيئات الكبيرة إلى جزيئات أبسط.)ب(في تفاعل التخليق، يتم ربط الح زيئات الصغيرة لتكوين جزيئات أكبر.)ح(في تفاعل التبادل، يتبادل جزيئان الذرات.

إلى أي من هذه الفئات ينتمي هضم الطعام؟

التفاعلات القابلة للعكس يمكن أن تسير في أي من الاتجاهين تحت ظروف مختلفة. على سبيل المثال، يتحد ثاني أكسيد الكربون م ع الماء لإنتاج حمض الكربونيك، الذي يتحلل بدوره إلى أيونات البيكر بونات وأيونات الهيدروجين:



تطهر هذه التفاعل في هذا الكتاب أكثر من أي تفاعل آخر، خاصة عندما نناقش لاحقًا فسيولوجيا الجهاز التنفسي، والجهاز البولي، والجهاز اله ضمي.

اتجاه التفاعل العكسي يتحدد بوفرة المواد النسبية على كل جان ب من المعادلة. إذا كان هناك فائض من $2CO$ فإن التفاعل السابق يتقدم من اليسار إلى اليمين وينتج بيكربونات وأيونات الهيدروجين. إذا كانت البيكربونات وأيونات الهيدروجين موجودة بكمية زائدة، فإن ال تفاعل يتقدم من اليمين إلى اليسار وينتج $2CO$ و$2H$ O. تتبع ال فاعلات العكسية قانون فعل الكتلة: حيث تتقدم من المتفاعلات ذات الكمية الأكبر إلى المواد ذات الكمية الأقل. هذا القانون سيساعد في شرح العمليات التي نناقشها في الفصول اللاحقة، مثل سبب ارتباط ا لهيموغلوبين بالأكسجين في الرئتين لكنه يطلقه إلى أنسجة العضلات.

في غياب المؤثرات المزعجة، توجد التفاعلات العكسية في حالة توازن، حيث تكون نسبة المنتجات إلى المتفاعلات مستقرة. على س بيل المثال، يحافظ تفاعل حمض الكربونيك عادةً على نسبة 20:1 من أيونات البيكربونات إلى جزيئات حمض الكربونيك. ومع ذلك، يمكن أ ن يتزعزع هذا التوازن بفعل فائض من أيونات الهيدروجين، مما يدفع ا لتفاعل إلى اليسار، أو بإضافة ثاني أكسيد الكربون ودفعه إلى اليمين.

الإيثانول والأكسجين هما المتفاعلان، وحمض الأسيتيك والماء هما نو اتج هذا التفاعل. ليست كل التفاعلات معروضة بالسهم المتجه من ا ليسار إلى اليمين. في المعادلات الكيميائية الحيوية المعقدة، غالبًا ما تُكتب سلاسل التفاعلات عموديًا، أو قطريًا، أو حتى في دوائر.

يمكن تصنيف التفاعلات الكيميائية إلى تفاعلات تحلل، تفاعلا ت تركيب، أو تفاعلات تبادل. في تفاعلات التحلل، تنكسر جزيئة كبيرة إلى اثنتين أو أكثر من الجزيئات الصغيرة)الشكل 2.12أ(؛ رمزيًا، AB → A + B. عندما تأكل بطاطسًا، على سبيل المثال، ت قوم الإنزيمات الهاضمة بتحليل نشاها إلى آلاف جزيئات الجلوكوز، و تقوم معطم الخلايا بتحليل الجلوكوز إلى ماء وثاني أكسيد الكربون. الن شا، وهو جزيء كبير جدًا، ينتج في النهاية حوالي 36000 جزيء من 2H O و $2CO$

تفاعلات التركيب هي العكس تمامًا—تتحد جزيئات صغيرة اثنتي ن أو أكثر لتكوين جزيء أكبر؛ رمزيًا، A + B → AB)الشكل 2.12ب(. عندما يصنع الجسم البروتينات، على سبيل المثال، يجمع 50 حمضًا أمينيًا أو أكثر في جزيء بروتين واحد.

في تفاعلات التبادل، تتبادل جزيئتان الذرات أو مجموعات الذرا ت؛ AB + CD → AC + BD)الشكل 2.12ح(. على سبيل المثال، عندما يدخل حمض المعدة)HCl(إلى الأمعاء الدقيقة، يفرز البنكرياس بيكربونات الصوديوم)$NaHCO_3$(لتحييده. التفاعل بين الاثنين هو



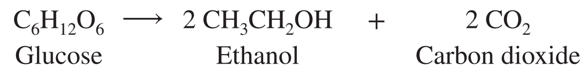
$$NaHCO_3 + HCl \longrightarrow NaCl + H_2CO_3.$$

يمكننا القول إن ذرة الصوديوم قد تبادلت مجموعة البيكربونات)HCO_3—H(بذرة كلور.

جزيئات تخزين الطاقة لتشغيل سباق، ستشعر أنت أيضًا بالحرارة. فى كلتا الحالتين، تشير الحرارة إلى حدوث تفاعلات طاردة للطاقة.

البناء[12] (ah-NAB-oh-lizm) يتكون من تفاعلات التخ ليق التى تخزن الطاقة، مثل إنتاج البروتين أو الدهون. التفاعلات التى تتطلب إدخال طاقة، مثل هذه، تُسمى تفاعلات الطاقة الممتصة (en dergonic)[13]. البناء مدفوع بالطاقة التى يطلقها الهدم، لذا فإن العمل يات الممتصة للطاقة والمحررة للطاقة، البناء والهدم، مرتبطة ارتباطًا لا ينفصم.

الأكسدة هى أى تفاعل كيميائى تقوم فيه جزيئة بالتخلى عن الإلك ترونات وإطلاق الطاقة. يتم *أكسدة الجزيئة بواسطة هذه العملية، وأى جزيئة تأخذ الإلكترونات منها تُسمى عامل مؤكسد (مستقبل الإلكترونا ت).* مصطلح *الأكسدة* ينبع من حقيقة أن الأكسجين غالبًا ما يكون م تورطًا كمستقبل للإلكترونات. لذلك، يمكننا أحيانًا التعرف على تفاعل الأكسدة من خلال حقيقة إضافة الأكسجين إلى الجزيئة. على سبيل الم ثال، صدأ الحديد هو عملية أكسدة بطيئة يتم فيها إضافة الأكسجين إ لى الحديد لتكوين أكسيد الحديد (Fe_2O_3). ومع ذلك، العديد من تفاعلا ت الأكسدة لا تشمل الأكسجين على الإطلاق. على سبيل المثال، عند ما يقوم الخميرة بتخمير الجلوكوز إلى الإيثانول، لا يتطلب الأمر وجود ا لأكسجين؛ فى الواقع، الإيثانول *يحتوى على كمية أقل من الأكسجين* مقارنة بالجلوكوز الأصلى، لكنه *أكثر أكسدة* من الجلوكوز:



$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2\ CH_3CH_2OH + 2\ CO_2$$

Glucose — Ethanol — Carbon dioxide

الاختزال هو تفاعل كيميائى تكتسب فيه الجزيئات إلكترونات وط اقة. عندما يقبل الجزىء الإلكترونات، يُقال إنه *اختزل؛* الجزىء الذى يتبرع بالإلكترونات لآخر يُسمى *عامل الاختزال (مانح الإلكترونات).* يح دث تأكسد جزىء واحد دائمًا مصحوبًا باختزال جزىء آخر، لذا تُعرف ه ذه التحولات الإلكترونية باسم *تفاعلات الأكسدة-الاختزال (ردوكس).*

ليس من الضرورى أن يتم نقل الإلكترونات فقط فى تفاعل الأك سدة والاختزال (الأكسدة والاختزال). غالبًا ما يتم نقل الإلكترونات على شكل ذرات هيدروجين. حقيقة أن البروتون (نواة الهيدروجين) يتم نق له أيضًا لا تؤثر على اعتبارنا للتفاعل كأكسدة أو اختزال.

2.3ح معدلات التفاعل

التفاعلات الكيميائية تعتمد على حركة الجزيئات وتصادمها. جميع الجزيئات فى حركة مستمرة، وتحدث التفاعلات عندما تصطدم الجزيئات المتفاعلة معًا بقوة كافية وبالاتجاه الصحيح. تعتمد سرعة التفاعل على طبيعة المتفاعلات وعلى تكرار وقوة هذه التصادمات.

بعض العوامل التى تؤثر على معدلات التفاعل هى

- التركيز. تزداد سرعة التفاعل عندما تكون المتفاعلات أكثر تركيزًا. وذلك لأن الجزيئات تكون أكثر تكدسًا وتصطدم بتكرار أكبر.
- درجة الحرارة. تزداد سرعة التفاعل مع ارتفاع درجة الحرارة. وذلك لأن الحرارة تجعل الجزيئات تتحرك بسرعة أكبر وتصطدم بقوة وتكرار أكبر.
- المحفزات (CAT-uh-lists). هى مواد ترتبط مؤقتًا با لمتفاعلات، وتحافظ عليها فى وضع مناسب لتتفاعل مع بعض ها البعض، وقد تغير أشكال المتفاعلات بطرق تجعلها أكثر احتما لًا للتفاعل. من خلال تقليل عنصر الصدفة فى تصادمات الجزيئا ت، يسرع المحفز التفاعل. ثم يطلق المنتجات ويكون متاحًا ل تكرار العملية مع المزيد من المتفاعلات. المحفز نفسه لا يُستهل ك أو يتغير بفعل التفاعل. أهم المحفزات البيولوجية هى الإنزيم ات، التى سيتم مناقشتها لاحقًا فى هذا الفصل.

2.3د الأيض، الأكسدة، والاختزال

جميع التفاعلات الكيميائية فى الجسم تُسمى مجتمعة الأيض. ينقس م الأيض إلى قسمين: *الهدم* و *البناء* . الهدم[10] (ca-TAB-oh-lizm) يتكون من تفاعلات تحلل تُطلق الطاقة. هذه التفاعلات تكسر الروابط ا لتساهمية، وتنتج جزيئات أصغر من جزيئات أكبر، وتطلق طاقة يمكن استخدامها لأعمال فسيولوجية أخرى. التفاعلات التى تُطلق الطاقة تُ سمى *التفاعلات الطاردة للطاقة*[11]. إذا أمسكت بكوب ماء فى يدك و صببت عليه حمض الكبريتيك، على سبيل المثال، سيصبح الكوب ساخنًا جدًا لدرجة قد تضطر إلى وضعه.

---

[12] أنا = أعلى، لبناء
[13] end, endo = فى؛ erg = عمل

[10] كاتو = أسفل، للتحلل
[11] ex, exo = خارج؛ erg = عمل

الجدول 2.5	تفاعلات نقل الطاقة فى جسم الإنسان
التفاعلات الطاردة للطاقة	التفاعلات التى يحدث فيها إطلاق صافٍ للطاقة. المنتجات تحتوى على طاقة حرة كلية أقل من تلك التى كانت لدى المتفاعلات.
الأكسدة	تفاعل طارد للطاقة يتم فيه إزالة الإلكترونات من المتفاعل. قد تُزال الإلكترونات واحدة أو اثنتان فى كل مرة وقد تُزال على شكل ذرات هيدروجين (H أو H_2). يُقال عندها إن المنتج قد تم أكسدته.
التحلل	تفاعل مثل الهضم والتنفس الخلوى، يتم فيه تفكيك الجزيئات الكبيرة إلى جزيئات أصغر.
التمثيل الغذائى الهدمى (الكاتابوليزم)	مجموع جميع تفاعلات التحلل فى الجسم.
التفاعلات الماصة للطاقة	تفاعلات يحدث فيها إدخال صافٍ للطاقة. المنتجات تحتوى على طاقة حرة كلية أكثر مما كانت عليه المتفاعلات.
اختزال	تفاعل طارد للطاقة يتم فيه التبرع بالإلكترونات إلى متفاعل. يُقال إن الناتج قد تم اختزاله.
تخليق	تفاعل مثل تخليق البروتين والجليكوجين، حيث يتم دمج جزيئين أو أكثر صغيرين فى جزىء أكبر.
البناء الضوئى	مجموع جميع تفاعلات التخليق فى الجسم.

الكربون هو ذرة متعددة الاستخدامات بشكل خاص تعمل كأساس لتشكيلات متنوعة. لديه أربعة إلكترونات تكافؤية، لذا يرتبط تساهميًا مع ذرات أخرى تشارك بأربعة إلكترونات أخرى لإكمال غلاف التكافؤ الخاص به. ترتبط ذرات الكربون بسهولة مع بعضها البعض ويمكنها تكوين سلاسل طويلة، وجزيئات متفرعة، وحلقات—مجموعة كبيرة من هياكل الكربون للجزيئات العضوية. كما يشكل الكربون روابط تساهمية شائعة مع الهيدروجين، والأكسجين، والنيتروجين، والكبريت. تحمل هياكل الكربون مجموعة متنوعة من المجموعات الوظيفية —عناقيد صغيرة من الذرات تحدد العديد من خصائص الجزيء العضو ي. على سبيل المثال، تحمل الأحماض العضوية مجموعة الكربوكسيل (car-BOC-sil)، وATP مسمى على ثلاث مجموعات الفوسفا ت. تشمل المجموعات الوظيفية الشائعة الأخرى الهيدروكسيل، المي ثيل، ومجموعات الأمينو (الشكل 2.13).

2.4ب المونومرات والبوليمرات

نظرًا لأن الكربون يمكنه تكوين سلاسل طويلة، فإن بعض الجزيئات العضوية هي جزيئات ضخمة *ماكرومولكولات* بأوزان جزيئية تتراوح

الاسم و الرمز	التركيب	يوجد في
هيدروكسيل (— OH)		السكريات، الكحولات
ميثيل (— CH_3)		الدهون، الزيوت، الستيرويدات، الأحماض الأمينية
كربوكسيل (— COOH)		الأحماض الأمينية، السكريات، البروتينات
أمينو (— NH_2)		الأحماض الأمينية، البروتينات
فوسفات (— H_2PO_4)		الأحماض النووية، ATP

الشكل 2.13 المجموعات الوظيفية للجزيئات العضوية.

يمكننا تمثيل الأكسدة والاختزال كما يلي، مع اعتبار A و B رموزًا لجزيئات عشوائية و e^- تمثل إلكترونًا واحدًا أو أكثر ينتقل من الجزيء A إلى الجزيء B:



يُعتبر Ae^- عامل اختزال لأنه يُختزل B، وBg هو عامل تأكسد لأنه يُؤكس د Ae^- .

الجدول 2.5 يلخص هذه التفاعلات لنقل الطاقة.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

12. عرف الطاقة. ميز بين الطاقة الكامنة والطاقة الحركية.

13. عرف الأيض، الهدم، والبناء.

14. ماذا يعني الأكسدة؟ ماذا يعني الاختزال؟ أي منهما طارد للطاقة وأي منهما ماص للطاقة؟

15. عندما يتكون كلوريد الصوديوم، أي عنصر—الصوديوم أم الكلور—يتأكسد؟ وأي منهما يُختزل؟

2.4 المركبات العضوية

نتائج التعلم المتوقعة

عندما تكمل هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. اشرح لماذا الكربون مناسب بشكل خاص ليكون الأساس البنيوي للعديد من الجزيئات البيولوجية؛

ب. تحديد بعض المجموعات الوظيفية الشائعة للجزيئات الع ضوية من صيغها؛

ج. ناقش أهمية البوليمرات في علم الأحياء وشرح كيفية ت كوينها وتفكيكها بواسطة التخليق الإزالة للماء والتحلل المائي؛

د. ناقش أنواع الكربوهيدرات ووظائفها؛

هـ. ناقش أنواع الدهون ووظائفها؛

و. ناقش تركيب البروتين ووظيفته؛

g. اشرح كيفية عمل الإنزيمات؛

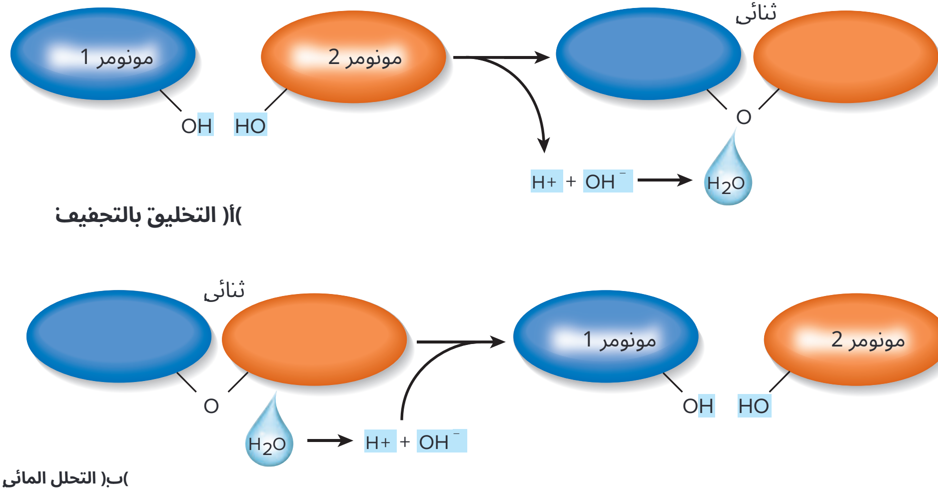
h. وصف تركيب وإنتاج ووظيفة الـ ATP؛

i. تحديد أنواع النوكليوتيدات الأخرى ووظائفها؛ و

ي. تحديد الأنواع الرئيسية للأحماض النووية.

2.4أ مركبات الكربون والمجموعات الوظيفية

الكيمياء العضوية هي دراسة مركبات الكربون. بحلول عام 1900، صنف علماء الكيمياء الحيوية الجزيئات العضوية الكبيرة للحياة إلى أربع فئات رئيسية: *الكربوهيدرات، والدهون، والبروتينات*، و *الأحماض النووية*. نفحص الثلاثة الأولى في هذا الفصل لكننا نصف تفاصيل الأحماض النووية، التي تتعلق بالوراثة، في الفصل 4.



الشكل 2.14 تفاعلات التخليق بالتجفيف والتحلل المائى.)أ(التخليق بالتجفيف، إنشاء رابطة تساهمية جديدة بين مونومرين وإنتاج الماء كناتج ثانوى.)ب(التحلل المائى، استهلاك جزىء ماء لكسر رابطة تساهمية.

طبق ما تعرفه

لماذا يُعتبر اسم الكربوهيدرات مناسبًا لهذه الفئة من المركبات؟ اربط هذا الاسم بالصيغة العامة للكربوهيدرات.

غالبًا ما تُبنى أسماء الكربوهيدرات الفردية على جذر الكلمة *ساكار* - أو اللاحقة - *أوز*، وكلاهما يعنى "سكر" أو "حلو". أكثر الكربوهيدرات شهرة هى السكريات والنشويات.

أبسط الكربوهيدرات هى مونومرات تُسمى مونوسكاريدات (M[17]ON-oh-SAC-uh-rides)، أو السكريات البسيطة. الثلاثة الأكثر أهمية هى الجلوكوز، الجالاكتوز، والفركتوز، جميعها بالصيغة الجزيئية $C_6H_{12}O_6$ وهى متشابهات تركيبية بعضها البعض)الشكل 2.15(. نحصل على هذه السكريات بشكل رئيسى من هضم الكربوهيدرات الأكثر تعقيدًا. الجلوكوز هو "سكر الدم" الذى يوفر الطاقة لمعظم الخلايا. مونوسكاريدان آخران، الريبوز والديأوكسى ريبوز، هما مكونان مهمان فى RNA وDNA، على التوالى.

الديكاربوهيدرات هى سكريات تتكون من مونوسكاريدين. الثلاثة ديكاربوهيدرات الأكثر أهمية هى السكروز)مصنوع من الجلوكوز + الفركتوز(، اللاكتوز)الجلوكوز + الجالاكتوز(، و المالتوز)الجلوكوز + الجلوكوز( )الشكل 2.16(. يُنتج السكروز من قصب السكر وبنجر السكر ويُستخدم كسكر المائدة الشائع. اللاكتوز هو سكر الحليب. المالتوز هو ناتج هضم النشا ويوجد فى بعض الأطعمة مثل المشروبات المحتوية على الشعير والحبوب النامية.

سلاسل قصيرة مكونة من ثلاثة مونوسكاريدات أو أكثر تُسمى أوليغوسكاريدات[18]، والسلاسل الطويلة)حتى آلاف المونوسكاريدات(تسمى بوليسكاريدات. لا يوجد معيار دقيق لتحديد متى تكون السلسلة طويلة بما يكفى لتُسمى بوليسكاريد، لكن السلسلة التى تحتوى على 10 أو 20 مونوسكاريد تُعتبر عمومًا أوليغوسكاريد، فى حين أن السلسلة التى تحتوى على 50 أو أكثر تُعتبر عمومًا بوليسكاريد. يمكن أن تكون البوليسكاريدات طويلة لآلاف السكريات وقد تصل أوزانها الجزيئية إلى 500,000 أو أكثر.

من الآلاف)كما فى النشا والبروتينات(إلى الملايين)كما فى الحمض النووى DNA(. معظم الجزيئات الكبيرة هى بوليمرات[14]—جزيئات مصنوعة من سلسلة متكررة من وحدات فرعية متطابقة أو متشابهة تسمى مونومرات. على سبيل المثال، النشا هو بوليمر مكون من حوالى 3,000 مونومر جلوكوز. فى النشا، تكون المونومرات متطابقة، بينما فى بوليمرات أخرى، تشترك المونومرات فى تشابه هيكلى أساسى لكنها تختلف فى التفاصيل. على سبيل المثال، يتكون الحمض النووى DNA من 4 أنواع من المونومرات)النيوكليوتيدات(، وتتكون البروتينات من 20 نوعًا)الأحماض الأمينية(.

الانضمام بين المونومرات لتشكيل بوليمر يسمى البلمرة. تحقق الخلايا الحية ذلك من خلال تفاعل يسمى التخليق بالتجفيف)التكثيف( )الشكل 2.14أ(. يقوم إنزيم بإزالة مجموعة هيدروكسيل)—OH(من مونومر واحد وذرة هيدروجين)—H(من مونومر آخر، مما ينتج ماء كمنتج ثانوى. يرتبط المونومران بواسطة رابطة تساهمية، مكونين ديمر. يتكرر هذا مع كل مونومر يضاف إلى السلسلة، مما يؤدى إلى تكوين سلسلة طويلة يمكن اعتبارها بوليمر.

العكس من التخليق بالتجفيف هو التحلل المائى[15])الشكل 2.14ب(. فى التحلل المائى، تتأين جزيئة الماء إلى OH^- و H^+. يقوم إنزيم بكسر الرابطة التساهمية التى تربط مونومرًا بآخر، ويضيف OH^- إلى مونومر واحد وH^+ إلى الآخر.

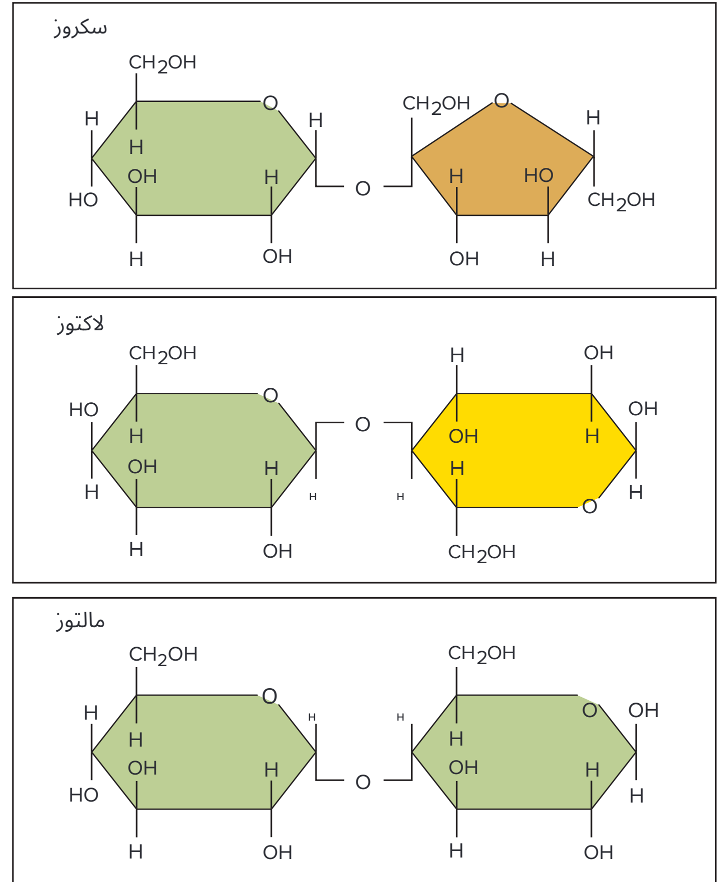
جميع عمليات الهضم الكيميائى تتكون من تفاعلات التحلل المائى.

2.4ج الكربوهيدرات

الكربوهيدرات[16] هى جزىء عضوى محب للماء بالصيغة العامة $(CH_2O)_n$، حيث n تمثل عدد ذرات الكربون. فى الجلوكوز، على سبيل المثال، $n = 6$ والصيغة هى $C_6H_{12}O_6$. كما يُظهر الصيغة العامة، تحتوى الكربوهيدرات على نسبة 2:1 من الهيدروجين إلى الأكسجين.

[14] *بولى* = كثير؛ *مير* = جزء
[15] *هايدرو* = ماء؛ *ليسيس* = الانقسام
[16] *كربو* = كربون؛ *هايدر* = ماء

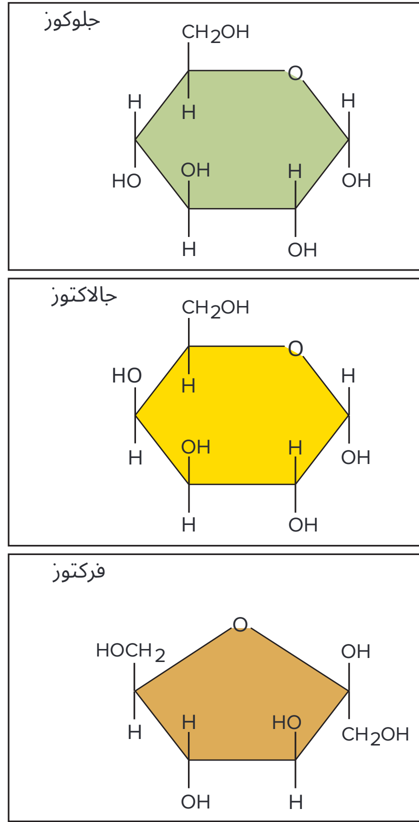
[17] *مونو* = واحد؛ *ساكار* = سكر
[18] *قليل* = قليل؛ *سكر* = سكريات



الشكل 2.16 الثلاثة السكريات الثنائية الرئيسية. السكروز، اللاكتوز، والمالتوز جميعها تتكون من جزيئين من السكريات الأحادية مرتبطين عبر ذرة أكسجين.

القطن والورق. يتكون من سلسلة من عدة آلاف من وحدات الجلوكوز ا لأحادية. السليلوز هو أكثر المركبات العضوية وفرة على الأرض وهو م كون شائع فى حميات البشر والحيوانات الأخرى — ومع ذلك لا نمتلك إنزيمات لهضمه. ومع ذلك، فهو مهم كألياف غذائية)"كتلة" أو "خشو نة"(. ينتفخ بالماء فى الجهاز الهضمى ويساعد على تحريك المواد الأخ رى عبر الأمعاء. نحصل على بعض الفائدة الغذائية من منتجات التحل ل الناتجة عن عمل البكتيريا على السليلوز فى الأمعاء الغليظة.

الكربوهيدرات هى، قبل كل شىء، مصدر للطاقة يمكن تعبئته ب سرعة. كل الكربوهيدرات المهضومة تتحول فى النهاية إلى جلوكوز، و يتم أكسدة الجلوكوز لإنتاج ATP، وهو مركب عالى الطاقة سيتم مناق شته لاحقًا. لكن للكربوهيدرات وظائف أخرى أيضًا)الجدول 2.6(. غال بًا ما تكون مرتبطة تساهميًا[20] بالبروتينات والدهون. العديد من جزيئات الدهون والبروتينات على السطح الخارجى لغشاء الخلية تحتوى على سلاسل تصل إلى 12 سكرًا مرتبطة بها، مكونة بذلك الح ليكولبيدات و الجليكوبروتينات على التوالى. من بين وظائف أخرى، تُعد الجليكوبروتينات مكونًا رئيسيًا للمخاط، الذى يحجز الجسيمات ف ى الجهاز التنفسى، ويقاوم العدوى، ويحمى الجهاز الهضمى من حم ضه وإنزيماته الخاصة.



الشكل 2.15 الثلاثة أحاديّات السكّر الرئيسية. الجلوكوز، الجالاكتوز، وال فركتوز جميعها لها الصيغة الجزيئية $C_6H_{12}O_6$. لكن الذرات مرتبة بشكل مختلف كما هو موضح. كل زاوية فى الحلقات تمثل ذرة كربون باستثناء ا لزاوية التى يظهر فيها الأكسجين. هذه طريقة تقليدية لتمثيل الكربون فى ال صيغ التركيبية للمركبات العضوية.

)مقارنة بـ 180 لجلوكوز واحد(. ثلاثة من عديدات السكاريد المهمة فى علم وظائف الأعضاء البشرى هى الجليكوجين، النشا، والسليلوز—جم يعها تتكون فقط من الجلوكوز. الحيوانات، بما فى ذلك نحن، تصنع ال جليكوجين، فى حين أن النشا والسليلوز هما منتجات نباتية.

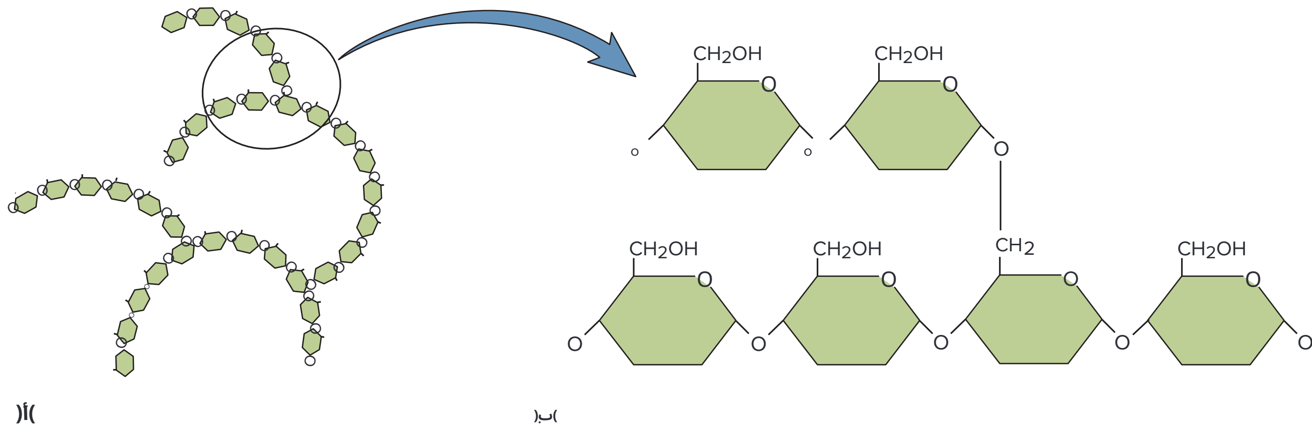
الجليكوجين[19] هو متعدد سكاريد لتخزين الطاقة يصنعه خلايا الك بد والعضلات والدماغ والرحم والمهبل. إنه بوليمر طويل ومتفرع من ا لجلوكوز)الشكل 2.17(. ينتج الكبد الجليكوجين بعد الوجبة، عندما يكو ن مستوى الجلوكوز فى الدم مرتفعًا، ثم يقوم بتفكيكه بين الوجبات ل لحفاظ على مستويات الجلوكوز فى الدم عندما لا يكون هناك تناول ل لطعام. تخزن العضلات الجليكوجين لاحتياجاتها الطاقية الخاصة، وى ستخدمه الرحم فى بداية الحمل لتغذية الجنين.

النشا هو متعدد السكاريد المخزن للطاقة فى النباتات. يقومون بتخزينه عندما تتوفر أشعة الشمس والمغذيات و يستخدمونه عندما لا يكون التمثيل الضوئى ممكنًا)على سبيل المثال، فى الليل وفى الشتاء، عندما تفقد النبتة أوراقها(. النشا هو متعدد السكاريد الهضمى الوحيد المهم فى النظام الغذائى البشرى.

السليلوز هو متعدد سكاريد هيكلى يمنح القوة لجدران خلايا النباتات. وهو المكون الرئيسى للخشب،

[20] كون = معًا؛ جوغ = انضمام

[19] جليكو = سكر؛ جن = إنتاج



السكل 2.17 الجليكوجين. هذا هو متعدد السكاريد الوحيد الموجود فى أنسجة الإنسان.)أ(جزء من جزىء الجليكوجين يُظهر سلسلة من وحدات الجلوكوز ونمط التفرع.)ب(تفصيل للجزىء عند نقطة التفرع.

البروتيوغليكانات هى جزيئات كبيرة يكون فيها مكون الكربوهيدرات هو السائد ويشكل الببتيد أو البروتين مكونًا أصغر. تشكل البروتيوغليكانات هلامًا يربط الخلايا والأنسجة معًا، وتشكل حشوًا هلاميًا فى الحبل السرى والعين، وتزلق مفاصل الجهاز الهيكلى، وتُعطى النسيج الغضروفى ملمسًا قويًا ومطاطيًا.

عند مناقشة الجزيئات الكبيرة المركبة، من المناسب الإشارة إلى كل مكون كيميائى مختلف على أنه

جُزء[21])MOY-eh-tee(. تحتوى البروتيوغليكانات على جزء بروتينى وجزء كربوهيدراتى، على سبيل المثال.

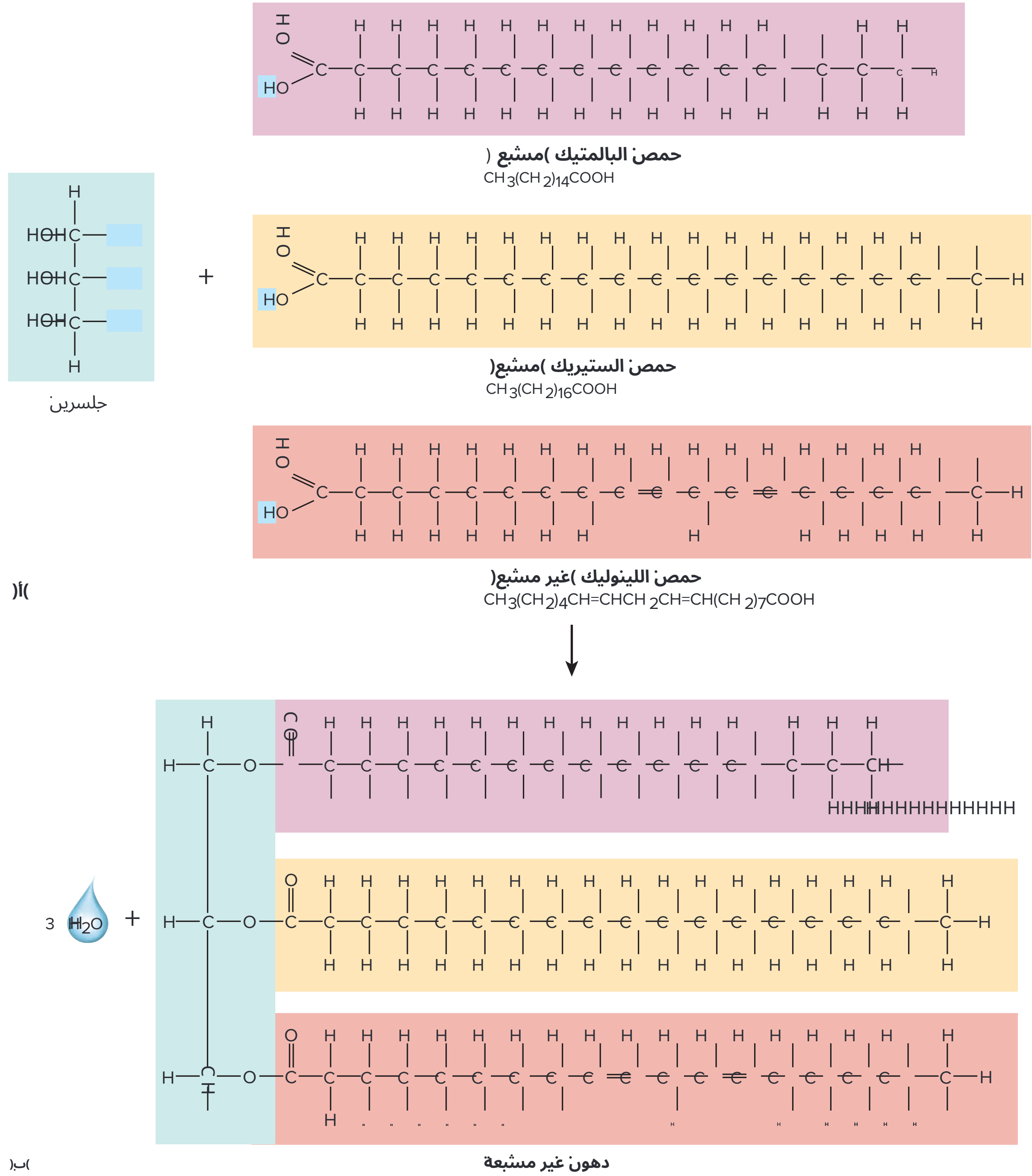
2.4د الدهون

الدهون هى جزيئات عضوية كارهة للماء، تتكون عادةً فقط من الكربون و الهيدروجين والأكسجين، مع نسبة عالية من الهيدروجين إلى الأكسجين. على سبيل المثال، الدهون المسماة تريستارين)tri-STEE-uh-rin(لها الصيغة الجزيئية $C_{57}H_{110}O_6$—أكثر من 18 ذرة هيدروجين لكل ذرة أكسجين. الدهون أقل تأكسدًا من الكربوهيدرات، وبالتالى تحتوى على سعرات حرارية أكثر لكل جرام. بخلاف هذه المعايير، من الصعب التعميم حول الدهون؛ فهى أكثر تنوعًا فى التركيب مقارنة بالجزيئات الكبيرة الأخرى التى ندرسها. نعتبر هنا الأنواع الخمسة الأساسية من الدهون فى الإنسان—الأحماض الدهنية، ثلاثى الجليسريدات، الفسفوليبيدات، الإيكوسانويدات، والستيرويدات)الجدول 2.7(.

[21] moiet = نصف

وظائف الكربوهيدرات	الجدول 2.6
الوظيفة	**النوع**
أحاديات السكاريد	
سكر الدم—مصدر الطاقة لمعظم الخلايا	جلوكوز
يتم تحويلها إلى جلوكوز ويتم استقلابها	جالاكتوز
يتم تحويلها إلى جلوكوز ويتم استقلابها	فركتوز
ثنائيات السكاريد	
سكر القصب—يُهضم إلى جلوكوز وفركتوز	سكروز
سكر الحليب—يُهضم إلى جلوكوز وجالاكتوز؛ مهم فى تغذية الرضع	لاكتوز
سكر المالت—منتج هضم النشا، يُهضم لاحقًا إلى جلو كوز	مالتوز
متعددات السكاريد	
متعدد سكاريد هيكلى فى النباتات؛ ألياف غذائية	السليلوز
تخزين الطاقة فى خلايا النبات؛ مصدر طاقة فى النظام الغ ذائى البشرى	النشا
تخزين الطاقة فى خلايا الحيوانات)الكبد، العضلات، الدماغ، الرحم، المهبل(	الجليكوجين
الكربوهيدرات المرتبطة	
مكون من طبقة سطح الخلية والمخاط، من بين أدوار أ خرى	الجليكوبروتين
مكون من غطاء سطح الخلية	جليكوليبيد
التصاق الخلايا؛ التزليق؛ حشو داعم لبعض الأنسجة والأعضاء	بروتيوغليكان

وظائف الدهون	الجدول 2.7
الوظيفة	**النوع**
ستيرويدات تساعد فى هضم الدهون وامتصاص ا لمغذيات	أحماض الصفراء
مكون من مكونات أغشية الخلايا؛ سلف لستيرويدا ت أخرى	الكوليسترول
رسل كيميائية بين الخلايا	الإيكوسانويدات
تشارك فى مجموعة متنوعة من الوظائف بما ف ى ذلكتخثر الدم، التئام الجروح، الرؤية، وامتصا ص الكالسيوم	الفيتامينات الذ ائبة فى الده ون)E، D، A، وK(
مقدمة للدهون الثلاثية؛ مصدر للطاقة	الأحماض الدهنية
المكون الرئيسى لأغشية الخلايا؛ تساعد فى هضم الدهون	الفوسفوليبيدات
رسل كيميائية بين الخلايا	الهرمونات الستيرويدية
تخزين الطاقة؛ العزل الحرارى؛ ملء المساحات؛ ربط الأعضاء معًا؛ حماية الأعضاء	الدهون الثلاثية



الشكل 2.18 تخليق ثلاثي الجليسريد)الدهون(. تتحد الأحماض الدهنية الثلاثة فوق السهم)أ(مع الجلسرين)يسار(لإنتاج ثلاثي الجليسريد)الدهون(أسفل السهم)ب(. لاحظ الفرق بين الأحماض الدهنية المشبعة وغير المشبعة وإنتاج 3 2H O كناتج ثانوي من تفاعل التخليق بالتجفيف هذا.

ترتبط بعض ذرات الكربون بروابط تساهمية مزدوجة)الشكل 2.18أ(. كل واحد من هذه يمكن أن يشارك زوجًا واحدًا من الإلكترونات مع ذرة هيدروجين أخرى بدلاً من الكربون المجاور، لذلك يمكن إضافة الهيدروجين إلى هذه الجزيئة. الأحماض الدهنية المتعددة غير المشبعة هي تلك التي تحتوي على روابط C = C متعددة. يمكن للجسم البشري تصنيع معظم الأحماض الدهنية، ولكن القليل منها، الذي يُسمى الأحماض الدهنية الأساسية يجب الحصول عليه من النظام الغذائي لأننا لا نستطيع تصنيعها.

الحمض الدهني هو سلسلة تتكون عادة من 4 إلى 24 ذرة كربون مع مجموعة كربوكسيل في أحد الطرفين ومجموعة ميثيل في الطرف الآخر. تُصنف الأحماض الدهنية والدهون المصنوعة منها إلى مشبعة أو غير مشبعة. الحمض الدهني المشبع مثل حمض البالمتيك يحتوي على أكبر كمية ممكنة من الهيدروجين. لا يمكن إضافة المزيد دون تجاوز أربع روابط تساهمية لكل ذرة كربون؛ لذلك فهو "مشبع" بالهيدروجين. في الأحماض الدهنية غير المشبعة مثل حمض اللينوليك،

الدهون الحيوانية عادة ما تتكون من أحماض دهنية مشبعة، لذلك تُسمى *دهون مشبعة*. وهي صلبة في درجة حرارة الغرفة أو الجسم.
معظم الدهون الثلاثية النباتية هي *دهون متعددة غير مشبعة*، والتي تبقى عادة سائلة في درجة حرارة الغرفة. من الأمثلة على ذلك زيوت الفول السوداني، والزيتون، والذرة، وبذور الكتان. الدهون المشبعة تسهم أكثر في أمراض القلب والأوعية الدموية مقارنة بالدهون غير المشبعة، ولهذا السبب من الصحي أكثر الطهي باستخدام الزيوت النباتية بدلاً من الشحم، أو دهن لحم الخنزير، أو الزبدة)ولكن انظر التعمق 2.3(.
الوظيفة الأساسية للدهون هي تخزين الطاقة، ولكن عندما تتركز في *النسيج الدهني*، فإنها توفر أيضًا عزلًا حراريًا وتعمل كوسادة تمتص الصدمات للحفاظ على الأعضاء الحيوية.
الفوسفوليبيدات تشبه الدهون المحايدة باستثناء أنه بدلاً من حمض دهني واحد، لديها مجموعة فوسفات والتي بدورها تكون

الدهون الثلاثية)triglyceride( )تراي-جليس-يور-ايد(هي جزيء يتكون من كحول ثلاثي الكربون يسمى جلسرين مرتبط بثلاثة أحماض دهنية؛ الدهون الثلاثية تُعرف بشكل أدق، وإن كان أقل شيوعًا، أيضًا باسم ترياسيلجلسرينات. كل رابطة بين الحمض الدهني والجلسرين تتكون عن طريق تفاعل إزالة الماء)الشكل 2.18ب(. بمجرد ارتباط ا لحمض الدهني بالجلسرين، لا يمكنه التبرع ببروتون إلى المحلول وبال تالي لم يعد حمضًا. لهذا السبب، تُسمى الدهون الثلاثية أيضًا دهونًا م حايدة. تتحلل الدهون الثلاثية بتفاعلات التحلل المائي التي تفصل كل من هذه الروابط عن طريق إضافة الماء.

الدهون الثلاثية التي تكون سائلة في درجة حرارة الغرفة تُسمى أيضًا *زيوت*. لكن الفرق بين الدهون والزيوت هو فرق اعتباطي إلى حد ما. على سبيل المثال، زيت جوز الهند يكون صلبًا في درجة حرارة الغرفة.



نظرة أعمق 2.3

التطبيق السريري

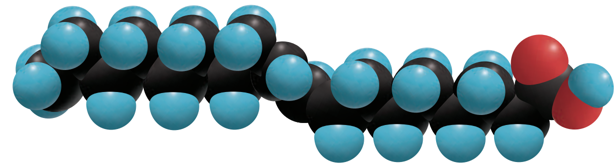
الدهون العابرة وصحة القلب والأوعية الدموية

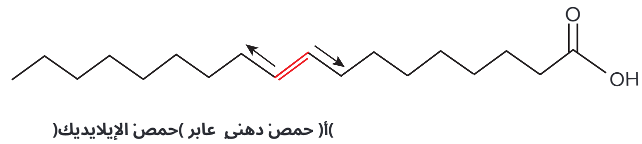
كانت الدهون العابرة جزءًا هامًا من النظام الغذائي الأمريكي لأكثر من قرن من الزم ن. ومع ذلك، في عام 2015، أمرت إدارة الغذاء والدواء الأمريكية)FDA(مصنعي ا لأغذية بالتوقف عن استخدامها. فما هي الدهون العابرة، ولماذا كانت شائعة لفتر ة طويلة، ولماذا تم حظرها تقريبًا بالكامل الآن؟

الدهون العابرة هي ثلاثي الجليسريد يحتوي على حمض دهني واحد أو أكثر عابر. في هذه الأحماض الدهنية، يوجد على الأقل رابطة مزدوجة غير مشبعة C ═ C. ع لى كل جانب من هذه الرابطة، تميل روابط الكربون الأحادية C— C في اتجاهي ن متعاكسين) عابر تعني "عبر من"(مثل زوج دواسات الدراجة)انظر الأسهم في ا لشكل 2.19أ(. وهذا على عكس الأحماض الدهنية المتماثلة، حيث تميل روابط ا لكربون الأحادية C— C المجاورة للرابطة المزدوجة C ═ C في نفس الات جاه) متماثل تعني "على نفس الجانب"(. كما ترى)الشكل 2.19ب(، التكوين المتماثل يخلق انحناءة في السلسلة، في حين أن الت كوين العابر يؤدي إلى سلسلة مستقيمة نسبيًا. تمنع هذه الانحناءة ثلاثي الجليسر يدات ذات الروابط المتماثلة من التجمع بإحكام؛ لذا فهي زيوت. أما الدهون العا برة فهي أكثر كثافة وبالتالي تكون صلبة في درجة حرارة الغرفة.

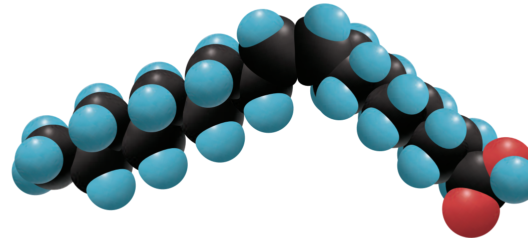
توجد كميات صغيرة من الدهون العابرة بشكل طبيعي في اللحوم ومنتجات ا لألبان، لكن في عام 1911، اخترع مصنع أغذية طريقة لتمرير الهيدروجين عبر الزيو ت النباتية السائلة وتحويل الأحماض الدهنية المتماثلة السائلة إلى أحماض دهنية عابرة صلبة. الزيت الناتج جزئي الهدرجة)PHO(، المباع كدهن نباتي، كان له عدة مزايا وتم تسويقه بشكل كبير للاستخدام المنزلي والصناعي. كان أسهل في الاستخ دام في صنع المخبوزات مثل قشور الفطائر والبسكويت، وأعطى المنتجات ملم سًا مرغوبًا وعمرًا افتراضيًا أطول. بالنسبة لأولئك الذين يتجنبون منتجات الخنزير، مثل النباتيين واليهود والمسلمين، كان أكثر قبولاً من الدهون الحيوانية مثل الشح م. أصبحت الدهون العابرة مستخدمة بكثرة ليس فقط من قبل الطهاة في المناز ل ولكن أيضًا في الوجبات الخفيفة، والمخبوزات، والكريمة المخفوقة، وكريمة القه وة، والمارجرين، والأطعمة السريعة مثل البطاطس المقلية والدجاج المقلي الجاهز.

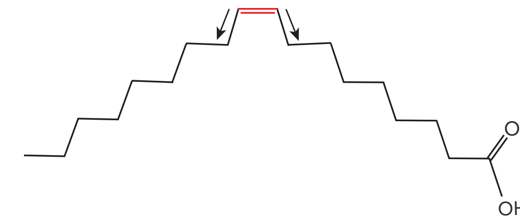
لكن الدهون العابرة تقاوم التحلل الإنزيمي في جسم الإنسان، وتبقى في الدورة الدموية لفترة أطول، وتميل أكثر إلى التراكم في الشرايين مقارنة بالدهون المشبع ة و المتماثلة. لذلك، تزيد من خطر الإصابة بمرض الشريان التاجي)CAD(. أظهرت دراسة شملت أكثر من 80,000 ممرضة تتبعن نظامهن الغذائي من 1980 إلى 1 994، من بين أمور أخرى، أنه مقابل كل زيادة بنسبة 2% في السعرات الحرارية م ن الدهون العابرة مقارنة بالكربوهيدرات، ارتفعت نسبة الإصابة بمرض الشريان ا لتاجي لدى النساء بنسبة 93%. ومع انتشار معرفة مخاطر الدهون العابرة، انخف ض استهلاكها في الولايات المتحدة بشكل كبير بعد عام 2003 وتم حظرها في بع ض المدن والولايات، حتى قررت إدارة الغذاء والدواء في 2015 أنها "غير آمنة للا ستهلاك البشري" ويجب القضاء عليها من الأطعمة المصنعة وأطعمة المطاعم.





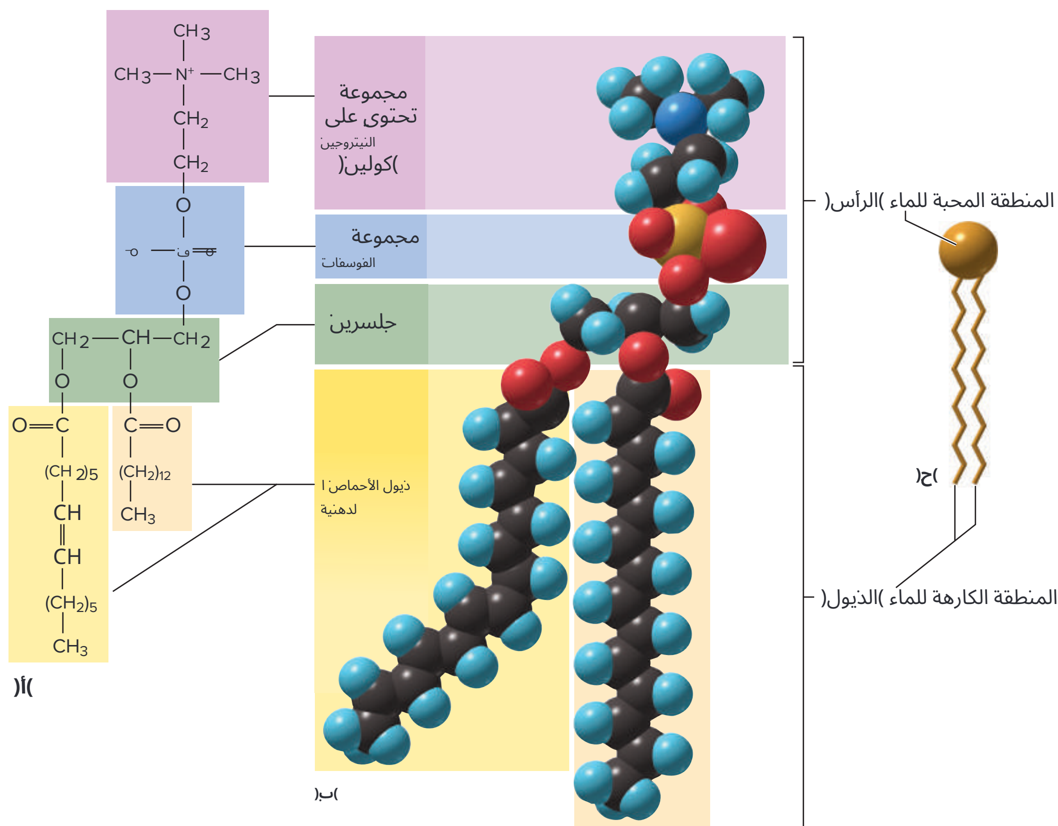
)أ(حمض دهني عابر)حمض الإيلايديك(



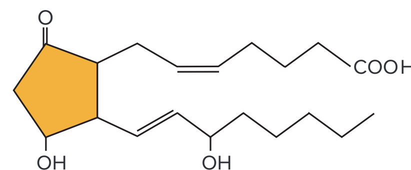


)ب(حمض دهني متماثل)حمض الأوليك(

الشكل 2.19 الأحماض الدهنية ترانس- و سيس- .كل مثال غير مشبع عند الرابطة الثنائية C ═ C باللون الأحمر.)أ(في الحمص الدهن ي ترانس-، الروابط على جانبي زاوية الرابطة C ═ C تكون في ات جاهين متعاكسين)الأسهم(.)ب(في الحمص الدهني سيس-، الروابط ع لى جانبي زاوية الرابطة C ═ C تكون في نفس الاتجاه. الأحماض ا لدهنية ذات السلسلة المستقيمة ترانس- تتراكم بإحكام أكثر، وبالتالي تبقى صلبة)دهنية(في درجة حرارة الغرفة. حمض الأوليك يذوب عند 13.5°م)56.3°ف(، بينما حمض الإليدك يذوب عند 46.5°م)115.7°ف(ولذلك لا يذوب في جسم الإنسان.



الشكل ٢.٢٠ الليسيثين، فوسفوليبيد تمثيلى.)أ(الصيغة التركيبية.)ب(نموذج ملء الفراغ يعطى فكرة عن الشكل الفعلى للجزىء.)ح(تمثيل مبسط لجزىء الفوسفوليبيد المستخدم فى مخططات أغشية الخلايا.



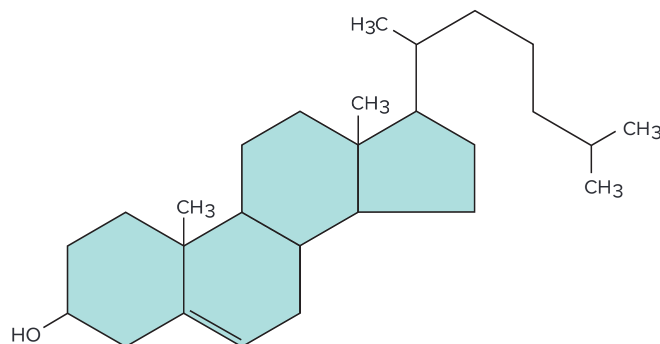
الشكل 2.21 بروستاجلاندين. هذا حمض دهنى معدل يحتوى على خمس ذرات كربون مرتبة فى حلقة.

مرتبطة بمجموعات وظيفية أخرى. الليسيثين هو فوسفوليبيد شائع ير تبط فيه الفوسفات بمجموعة نيتروجينية تُسمى *الكولين* (CO-leen))الشكل 2.20(. الفوسفوليبيدات لها طبيعة مزدوجة. ذيولا الأحماض الدهنية "الذيول" فى الجزىء كارهة للماء، لكن رأس الفوسفات محب للماء. لذلك، يُقال إن الفوسفوليبيدات أمفيباثية[22] (AM-fih-PATH-ic). معًا، الرأس والذيلان الاثنان للفوسفوليبيد يم نحانه شكل مشبك الغسيل.

أهم وظيفة للفوسفوليبيدات هى أن تكون الأساس الهيكلى لأغشية ا لخلايا.

الإيكوسانويدات[23] (eye-CO-sah-noyds) هى مركبات مكو نة من 20 ذرة كربون مشتقة من حمض دهنى يُسمى *حمض الأراكيد ونيك* (ah-RACK-ih-DON-ic). تعمل بشكل رئيسى كإشا رات كيميائية شبيهة بالهرمونات بين الخلايا. أكثر الإيكوسانويدات تنو عًا وظيفيًا هى البروستاجلانديات، التى تُرتب فيها خمس ذرات كربو ن فى حلقة)الشكل 2.21(. تم اكتشافها فى الأصل فى إفرازات غدد البروستاتا البقرية—ومن هنا جاء اسمها—لكنها الآن معروفة بأنها تُن تج فى معظم الأنسجة تقريبًا. تلعب أدوارًا متعددة فى الإشارات المتع لقة بالالتهاب، تجلط الدم، عمل الهرمونات، تقلصات الولادة، التحكم فى قطر الأوعية الدموية، وغيرها من العمليات.

الستيرويد هو دهون تحتوى على 17 ذرة كربون مرتبة فى أربع حلقات)الشكل 2.22(. الكوليسترول هو الستيرويد "الأصل" من



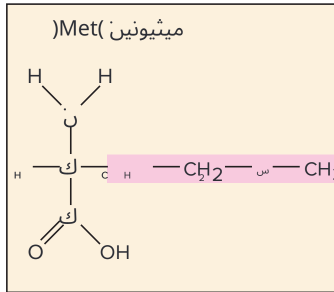
الشكل 2.22 الكوليسترول. جميع الستيرويدات تحتوى على هذا الهيك ل الأساسى المكون من أربعة حلقات، مع اختلافات فى المجموعات ا لوظيفية ومواقع الروابط الثنائية داخل الحلقات.

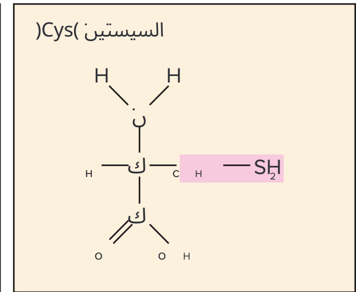
[22] أمفى = كلاهما؛ باثيك = شعور
[23] إيكوزا = 20

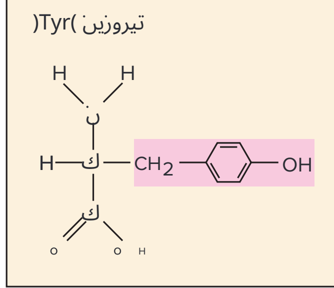
أكبر الأحماض الأمينية تشمل حلقات من الكربون. بعض مجموعات ر محبة للماء وبعضها كارهة للماء. وبما أن البروتينات تتكون من العديد من الأحماض الأمينية، فهى غالبًا ما تكون أمفيباثية.
الأحماض الأمينية العشرون المشاركة فى البروتينات موضحة فى الملحق د مع اختصاراتها القياسية.
الببتيد هو أى جزىء يتكون من حمضين أمينيين أو أكثر مرتبطين بوا سطة روابط ببتيدية. رابطة الببتيد، التى تتكون عن طريق التفاعل الإزالة ا لمائية، تربط مجموعة الأمين لحمض أمينى واحد بمجموعة الكربوكسيل ل لحمض الأمينى التالى)الشكل 2.23ب(. تُسمى الببتيدات حسب عدد الأ حماض الأمينية التى تحتويها—على سبيل المثال، ثنائى الببتيد.

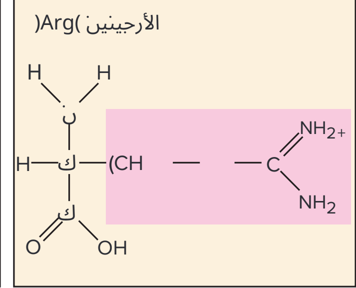
بعض الأحماض الأمينية غير القطبية

بعض الأحماض الأمينية القطبية

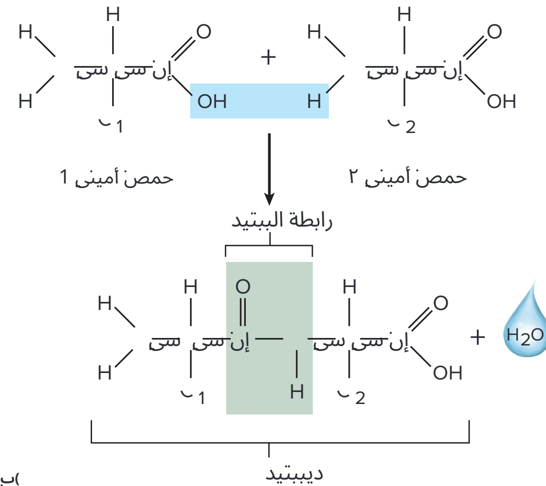








)أ(



الشكل 2.23 الأحماض الأمينية والببتيدات.)أ(أربعة أحماض أمينية تمثيلية ورموزها. لاحظ أنها تختلف فقط فى مجموعة R، المظللة بال لون الوردى. للاطلاع على هياكل جميع الأحماض الأمينية العشرين، انظر الم لحق د.)ب(ربط حمضين أمينيين بواسطة رابطة ببتيدية، مكونة ديبب تيد. يمكن أن تكون مجموعات الجانب R و2R هى المجموعات المشار إليها باللون الوردى فى الجزء)أ(، من بين احتمالات أخرى.



نظرة أعمق 2.4

التطبيق السريرى

الكوليسترول "الجيد" و"السيء"

هناك نوع واحد فقط من الكوليسترول، وهو يفيد الجسم أكثر مما يضر. عندما تش ير وسائل الإعلام الشعبية إلى الكوليسترول "الجيد" و"السيء"، فإنها فى الواقع ت شير إلى قطرات فى الدم تسمى البروتينات الدهنية، وهى مركب من الكوليسترول والدهون والفوسفوليبيدات والبروتين)انظر الشكل 26.3أ(. ما يسمى بالكوليسترو ل السيء يشير إلى البروتين الدهنى منخفض الكثافة)LDL(، الذى يحتوى على ن سبة عالية من الدهون إلى البروتين ويساهم فى أمراض القلب والأوعية الدموية. أ ما الكوليسترول الجيد فيشير إلى البروتين الدهنى عالى الكثافة)HDL(، الذى يح توى على نسبة أقل من الدهون إلى البروتين وقد يساعد فى الوقاية من أمراض ال قلب والأوعية الدموية.
حتى عندما يتم الإعلان عن المنتجات الغذائية بأنها خالية من الكوليسترول، قد تكون غنية بالدهون المشبعة، التى تحفز الجسم على إنتاج المزيد من الكوليسترو ل. يبدو أن حمض البالمتيك هو المذنب الأكبر فى تحفيز ارتفاع مستويات الكولى سترول، بينما حمض اللينوليك له تأثير خافض للكوليسترول. كلاهما موضح فى ا لشكل 2.18. يتم مناقشة أمراض القلب والأوعية الدموية بشكل أعمق فى نظرة أع مق 19.4، ويتم شرح LDL وHDL بشكل أكثر تفصيلاً فى الفصل 26.

الستيرويدات الأخرى يتم تصنيعها من خلالها. وتشمل الأخرى الكورتيزو ل، والبروجسترون، والإستروجينات، والتستوستيرون، وأحماض الصفراء. تختلف هذه عن بعضها البعض فى موقع روابط C = C داخل الحلق ات وفى المجموعات الوظيفية المرتبطة بالحلقات.
نحصل على الكوليسترول الغذائى فقط من الأطعمة ذات الأصل الحيوانى؛ حيث تنتج النباتات كميات ضئيلة لا أهمية غذائية لها. يح توى البالغ المتوسط على أكثر من 200 جرام)نصف رطل(من الكولى سترول. للكوليسترول سمعة سيئة كعامل فى أمراض القلب والأوعية الدموية)انظر التعمق 2.4(، ومن الصحيح أن العوامل الوراثية والغذا ئية يمكن أن ترفع مستوى الكوليسترول فى الدم إلى مستويات خطير ة. ومع ذلك، فإن الكوليسترول هو منتج طبيعى للجسم وضرورى لص حة الإنسان. بالإضافة إلى كونه مقدمة لستيرويدات أخرى، فهو مكون مهم لأغشية الخلايا وضرورى لوظيفة الجهاز العصبى بشكل صحيح. ح والى 15% فقط من الكوليسترول لدينا يأتى من النظام الغذائى؛ أما ا لـ 85% الأخرى فتُصنع داخليًا، بشكل رئيسى فى الكبد.

تلخص الدهون الرئيسية ووظائفها فى الجدول 2.7.

2.4e البروتينات

كلمة *بروتين* مشتقة من الكلمة اليونانية *بروتيوس* التى تعنى "ذو الأه مية الأولى". البروتينات هى أكثر الجزيئات تنوعًا فى الجسم، والعديد م ن المناقشات فى هذا الكتاب ستعتمد على فهمك لبنية البروتين و سلوكه.

الأحماض الأمينية والببتيدات

البروتين هو بوليمر من الأحماض الأمينية. يحتوى الحمض الأمينى على ذر ة كربون مركزية مرتبطة بمجموعة أمينية)NH2 —(ومجموعة كربوكس يل)COOH —( )الشكل 2.23أ(. الأحماض الأمينية العشرون ال مستخدمة فى تكوين البروتينات متطابقة باستثناء مجموعة وظيفية ثالثة تسمى مجموعة R)الجذر(المرتبطة بالكربون المركزى. فى أبسط الأحماض الأمينية، الجليسين، تكون مجموعة R مجرد ذرة هيدروجين، بينما فى



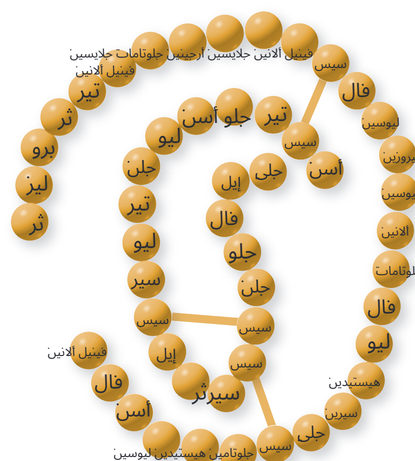
الشكل 2.24 أربعة مستويات لبنية البروتين.)أ(البنية الأولية، تسلسل الأحماض الأمينية.)ب(البنية الثانوية، اللولب ألفا أو الورقة بيتا.)ح(البنية الثلاثية، طى وتلف السلسلة.)د(البنية الرباعية، ارتباط سلسلتين أو أكثر مع بعضها البعض. هذا المثال على البنية الرباعية هو الهيموغلوبين، المكون من أربع سلاسل بولى ببتيدية. مجموعات الهيم هى مجموعات غير بروتينية تحتوى على الحديد.

لدى الثنائى الببتيد اثنان، ولدى الثلاثى الببتيد ثلاثة. تُسمى السلاسل ا
لتى تحتوى على أقل من 10 أو 15 حمضًا أمينيًا أوليغوببتيدات، وال
سلاسل الأكبر من ذلك تُسمى بولى ببتيدات. مثال على الأوليغوببتي
د هو هرمون تحفيز الولادة الأوكسيتوسين، المكون من 9 أحماض أم
ينية. أما البولى ببتيد النموذجى فهو هرمون الأدرينوكورتيكوتروبيك)A
CTH(، الذى يتكون من 39 حمضًا أمينيًا. البروتين هو
بولى ببتيد يحتوى على 50 حمضًا أمينيًا أو أكثر. يبلغ الوزن الجزيئى لل
حامض الأمينى النموذجى حوالى 80 وحدة كتلة ذرية، وتتراوح الأوزان
الجزيئية لأصغر البروتينات بين 4000 و8000 وحدة كتلة ذرية. يبلغ م
توسط وزن البروتين حوالى 30000 وحدة كتلة ذرية، وبعضها يمتلك أو
زانًا جزيئية تصل إلى مئات الآلاف.

هيكل البروتين

البروتينات لها هياكل معقدة ملتفة ومطوية تلعب دورًا حيويًا فى وظا
ئفها. حتى التغيرات الطفيفة فى تكوينها)الشكل ثلاثى الأبعاد(يمكن أ
ن تدمر وظيفة البروتين. أصبح من الممكن الآن رؤية بنية البروتين ح
تى مستوى الذرات الفردية باستخدام تقنية المجهر الإلكترونى بالتبريد
)cryo-EM(التى تم اختراعها حديثًا، والتى تجمع بين
مجهر إلكترونى ناقل وحاسوب فائق لتصوير جزيئات البروتين المبردة
للغاية)انظر صورة افتتاح هذا الفصل(. فاز هذا الاختراع بجائزة نوبل ف
ى الكيمياء لعام 2017 لمخترعيه يوهيم فرانك، وريتشارد هندرسون،
وجاك دوبوشيه.

جزيئات البروتين لها ثلاثة إلى أربعة مستويات من التعقيد، من ا
لبنية الأولية إلى البنية الرباعية)الشكل 2.24(.
التركيب الأولى هو تسلسل الأحماض الأمينية فى البروتين،
والذى يتم ترميزه فى الجينات)الشكل 2.25(.
الهيكل الثانوى هو شكل ملفوف أو مطوى يتم تثبيته معًا بروابط ه
يدروجينية بين المجموعة السالبة قليلاً —C═ O لمجموعة رابطة ب
بتيد واحدة والمجموعة الموجبة قليلاً — NH لمجموعة رابطة ببت
يد أخرى على مسافة معينة. أكثر الهياكل الثانوية شيوعًا هى شكل نابض
ى يسمى اللولب ألفا)α(وشكل مطوى يشبه الشريط، وهو الورقة بى
تا)β(الورقة المطوية)β(. العديد من البروتينات تحتوى على مناطق م
تعددة من اللولب α والورقة المطوية β مرتبطة بواسطة مقاطع قصيرة
ذات هندسة أقل انتظامًا. قد يطوى جزيء بروتين واحد نفسه للخلف



الشكل 2.25 التركيب الأساسى للأنسولين. يتكون الأنسولين من سلسلتين بولى ببتيديتين مرتبطتين بثلاثة جسور ديسلفيد)أشرطة ثقيلة(بمجموع 51 حمض أمينى. انظر الملحق د لتفسير رموز الأحماض الأمينية ذات الثلا ثة أحرف.

بحد ذاتها ولديها منطقتان أو أكثر من مناطق بيتا-مطوية مرتبطة ببعضها البعض بوا
سطة روابط هيدروجينية. كما يمكن لسلاسل البروتين المنفصلة والمتوازية أن ترتبط
ببعضها البعض أيضًا من خلال مناطقها بيتا-المطوية بواسطة روابط هيدروجينية.
التركيب الثالث[24])TUR-she-air-ee(يتكون من الانحناء
والطى الإضافى للبروتينات إلى أشكال كروية وألياف مختلفة. ينتج ذل
ك عن ارتباط مجموعات R الكارهة للماء مع بعضها البعض وتجنبها ل
لماء، فى حين تنجذب المجموعات المحبة للماء إلى الماء المحيط. تل
عب قوى فان دير فال دورًا هامًا فى تثبيت التركيب الثالث. البروتينا
ت الكروية، التى تشبه إلى حد ما كرة من الخيوط الملفوفة، لها تركيب
ثالثى مضغوط مناسب جيدًا للبروتينات المدمجة فى أغشية الخلايا و
البروتينات التى يجب أن تتحرك بحرية فى سوائل الجسم، مثل الإنزيم
ات والأجسام المضادة. البروتينات الليفية مثل الميوسين، الكيراتين،
والكولاجين

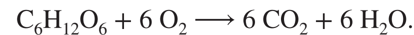
[24] tert = الثالث

- نقل الغشاء. بعض البروتينات تُشكل *قنوات* فى أغشية الخلا
يا تتحكم فيما يمر عبر الأغشية ومتى. والبعض الآخر يعمل كـ
ناقلات ترتبط مؤقتًا بجزيئات المذاب وتنقلها إلى الجانب الآ
خر من الغشاء.
أحد هذه البروتينات، على سبيل المثال، هو مضخة الصوديوم
–البوتاسيوم، التى تضخ باستمرار أيونات الصوديوم خارج الخلية وأيو
نات البوتاسيوم داخلها، مما يحافظ على استثارة خلايا الأعصاب
والعضلات.
- التحفيز. معظم المسارات الأيضية فى الجسم تتحكم بها الإنز
يمات، وهى بروتينات كروية تعمل كعوامل محفزة. ومن الأمثلة ا
لأخرى الإنزيمات الهضمية التى تكسر الطعام إلى مغذيات قابل
ة للامتصاص.
- التعرف والحماية. ذُكر دور الجليكوبروتينات فى التعرف المناعى
سابقًا. تهاجم الأجسام المضادة وبروتينات أخرى الكائنات التى
تغزو الجسم وتحييدها. تحمى بروتينات التجلط الجسم من فقد
ان الدم.
- الحركة. الحركة أساسية لجميع أشكال الحياة، من النقل داخل
الخلايا للجزيئات إلى جرى الحصان السريع. البروتينات، بقدر
تها الخاصة على تغيير الشكل بشكل متكرر، هى الأساس لكل هذ
ه الحركات. بعض البروتينات تُسمى المحركات الجزيئية)برو
تينات المحرك(لهذا السبب. أحد الأمثلة البارزة هو الميوسين
الذى يُحرّك جميع انقباضات العضلات.
- التلاصق الخلوى. ترتبط البروتينات بالخلايا مع بعضها البعض، مما يمكّن
الحيوانات المنوية من تخصيب البويضات، ويتيح لخلايا الجهاز المناعى الارتباط
بخلايا السرطان المعادية، ويحافظ على تماسك الأنسجة وعدم تفككها.

2.4f الإنزيمات والتمثيل الغذائى

الإنزيمات هى جزيئات كبيرة تعمل كعوامل محفزة بيولوجية. بعض م
نها عبارة عن جزيئات حمض ريبونوكليك)RNA(تُسمى ريبوزيمات،
توجد فى الريبوسومات)انظر الفصل 4(. ومع ذلك، فإن معظم الإنزيما
ت هى بروتينات. تمكّن هذه الإنزيمات التفاعلات الكيميائية الحيوية م
ن الحدوث بسرعة فى درجات حرارة الجسم الطبيعية. فى البداية، أُعط
يت الإنزيمات أسماءً عشوائية إلى حد ما، وبعضها ما زال مستخدمًا،
مثل *بيبسين* و *تريبسين*. ومع ذلك، فإن النظام الحديث لتسمية الإنز
يمات أكثر اتساقًا وإفادة. فهو يحدد المادة التى يعمل عليها الإنزيم، وا
لتى تُسمى الركيزة؛ وأحيانًا يشير إلى عمل الإنزيم؛ ويضيف اللاحقة -ا
ز. على سبيل المثال، *الأميلاز* يهضم النشا)*أميلى-* = نشا(و *كربونيك
أنهيدراز* يزيل الماء)*أنهيد-*(من حمض الكربونيك. قد تُعدل أسماء ا
لإنزيمات أكثر لتمييز الأشكال المختلفة لنفس الإنزيم الموجودة فى أن
سجة مختلفة)انظر نطرة أعمق 2.5(.

لتقدير تأثير الإنزيم، فكر فيما يحدث
عندما يحترق الورق. يتكون الورق أساسًا من الجلوكوز)فى شكل
السليلوز(. يمكن تمثيل احتراق الجلوكوز بالمعادلة



$$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \longrightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O.$$

لا يشتعل الورق تلقائيًا لأن عددًا قليلاً من جزيئاته يمتلك طاقة حركية
كافية للتفاعل. ومع ذلك، فإن إشعال الورق \بعود ثقاب يرفع الطاقة ا
لحركية بما يكفى لبدء الاحتراق)الأكسدة السريعة(. الطاقة اللازمة لبدء
التفاعل، والتى يوفرها العود، تُسمى طاقة التنشيط

)الشكل 2.26أ(.

كثر ملاءمة لأدوار مثل انقباض العضلات وتوفير القوة للجلد والشعر والأوتار.

حمض أمينى السيستين)Cys(، الذى يحتوى على مجموعة R —CH$_2$— SH
)انظر الشكل 2.23أ(، غالبًا ما يثبت البنية الثلاثية للبروتين عن طريق تشكيل جسو
ر ثنائية الكبريتيد التساهمية. عندما يصطف اثنان من السيستين مع بعضهما ال
بعض، يمكن لكل منهما إطلاق ذرة هيدروجين، مما يترك ذرات الكبريت لتشكيل
جسر ثنائى الكبريتيد)— S — S—(. تحافظ جسور ثنائية الكبريتيد على ارتباط سلا
سل الببتيد المنفصلة فى جزيئات مثل الأجسام المضادة والأنسولين)الشكل 2.2
5).

البنية الرباعية [25])QUA-tur-nare-ee(هى ارتباط اثنين أو
أكثر من سلاسل الببتيد بواسطة قوى غير تساهمية مثل الروابط الأيو
نية والتفاعلات المحبة للماء – الكارهة للماء. تحدث فقط فى بعض ال
بروتينات. على سبيل المثال، الهيموغلوبين يتكون من أربع سلاسل
ببتيد: سلسلتان ألفا متطابقتان وسلسلتان بيتا متطابقتان، أطول قلى
لاً)الشكل 2.24د(.
واحدة من أهم خصائص البروتينات هى قدرتها على تغيير الشكل
، خاصة البنية الثلاثية. يمكن أن يُثار هذا التغيير بتأثيرات مثل تغيرات
الجهد على غشاء الخلية أثناء عمل الخلايا العصبية، ارتباط هرمون ب
بروتين، أو انفصال جزىء عن بروتين. التغيرات الطفيفة والقابلة للعك
س فى التكوين مهمة لعمليات مثل وظيفة الإنزيم، انقباض العضلات
، وفتح وإغلاق المسام فى أغشية الخلايا. التحلل هو تغيير تكوينى أك
ثر حدة استجابة لظروف مثل الحرارة الشديدة أو الرقم الهيدروجينى. يُر
ى ذلك، على سبيل المثال، عند طهى البيضة حيث يتحول بياض ال
بيض)الألبومين(من شفاف وسائل إلى معتم وصلب. يجعل التحلل ا
لبروتين غير قادر على أداء وظيفته الطبيعية. أحيانًا يكون قابلًا للعكس
، لكنه عادة ما يدمر وظيفة البروتين بشكل دائم.

البروتينات المرتبطة تحتوى على جزء غير حمضى أمينى يُسمى مجموع
ة [26]بروستيتية مرتبطة بها تساهميًا. على سبيل المثال، الهيموغلوبين لا يح
توى فقط على أربع سلاسل بولى ببتيدية كما وُصفت سابقًا، بل كل سلسلة
تحتوى أيضًا على حلقة معقدة تحتوى على الحديد تُسمى مجموعة الهيم مر
تبطة بها)الشكل 2.24د(. لا يمكن للهيموغلوبين نقل الأكسجين إلا إذا كانت
هذه المجموعة موجودة. فى الجليكوبروتينات، كما وُصف سابقًا، تكون مجمو
عة الكربوهيدرات هى المجموعة البروستيتية.

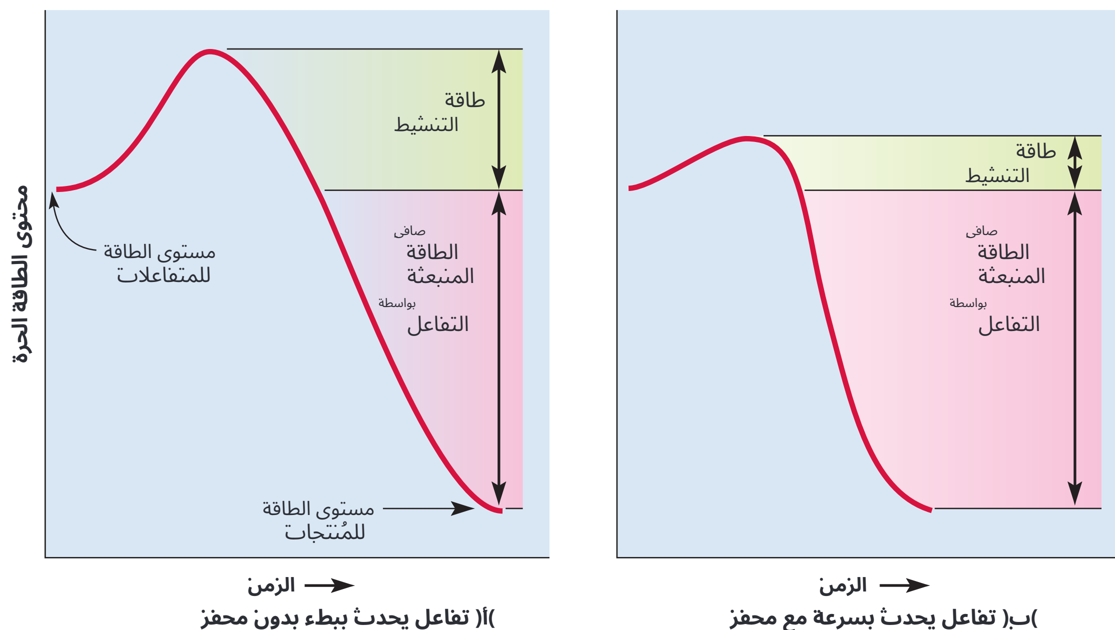
وظائف البروتين

تمتلك البروتينات وظائف أكثر تنوعًا من الجزيئات الكبيرة الأخرى.
تشمل هذه

- الهيكل. *الكيراتين*، وهو بروتين هيكلى قوى، يمنح القوة للأظافر
والشعر وسطح الجلد. الطبقات الأعمق من الجلد، وكذلك العظام
والغضاريف والأسنان، تحتوى على كمية كبيرة من البروتين الم
تين *الكولاجين*.
- الاتصال. بعض الهرمونات والإشارات بين الخلايا هى بروتينا
ت، وكذلك المستقبلات التى ترتبط بها جزيئات الإشارة
فى الخلية المستقبلة. على سبيل المثال، الإنسولين هو هر
مون بروتينى يرتبط ببروتين آخر، وهو المستقبل الخاص به،
على سطح الخلية. أى هرمون أو جزىء آخر يرتبط بشكل ع
كسى ببروتين يُسمى ليجاند [27](LIG-and).

---

[25] *quater* = الرابع
[26] *prosthe* = الزائدة، الإضافة
[27] *lig* = الربط



الشكل 2.26 تأثير الإنزيم على طاقة التنشيط.)أ(بدون محفزات، تتقدم بعض التفاعلات الكيميائية ببطء بسبب ارتفاع طاقة التنشيط اللازمة لجعل الجزيئات تتفاعل.)ب(المحفز يسهل التفاعل الجزيئى، مما يقلل من طاقة التنشيط ويجعل التفاعل يتقدم بسرعة أكبر. لاحظ أن التفاعل المحفز يصل إلى نهايته فى وقت أقصر.


هل يطلق الإنزيم طاقة أكثر من الركيزة مقارنة بالتفاعل غير المحفز؟

تركيب الإنزيم وعمله

يوضح الشكل 2.27 عمل الإنزيم، باستخدام مثال *السكراز*، وهو إنزيم يكسر السكروز إلى جلوكوز وفركتوز. تحدث العملية فى ثلاث خطوات رئيسية:

1. تقترب جزيئة الركيزة)مثل السكروز(من جيب على سطح الإنزيم يسمى الموقع النشط. تُرتب مجموعات الأحماض الأمينية الجانبية فى هذه المنطقة من الإنزيم بحيث ترتبط بالمجموعات الوظيفية على جزيئة الركيزة. لدى العديد من الإنزيمات موقعان نشطان، مما يمكنها من ربط ركيزتين مختلفتين وجمعهما بطريقة تجعل تفاعلهما مع بعضهما أسهل.

2. ترتبط الركيزة بالإنزيم، مكونة مركب الإنزيم-الركيزة. غالبًا ما يُقارن التوافق بين إنزيم معين وركيزته بالقفل والمفتاح. تمامًا كما أن مفتاحًا واحدًا فقط يناسب قفلًا معينًا، فإن السكروز هو الركيزة الوحيدة التى تناسب الموقع النشط للسكراز. لا يستطيع السكراز هضم السكريات الثنائية الأخرى مثل المالتوز أو اللاكتوز. تُسمى هذه الخاصية خصوصية الإنزيم-الركيزة. ومع ذلك، وعلى عكس القفل والمفتاح البسيط، فإن الركيزة تغير قليلاً شكل الإنزيم لخلق توافق أفضل بينهما، كما هو موضح بالأسهم فى الشكل.

3. يكسر السكراز الرابطة بين السكرين فى السكروز، مضيفًا مجموعات $—H^+$ و $—OH^-$ من الماء. هذا يحلل السكروز إلى سكريات أحادية، الجلوكوز والفركتوز، والتى يتم إطلاقها بعد ذلك بواسطة الإنزيم كـ نواتج التفاعل. الإنزيم يبقى دون تغيير وجاهز لتكرار العملية إذا كان هناك سكروز آخر متاح.

نظرة أعمق 2.5

التطبيق السريرى

الإنزيمات كمؤشرات للأمراض

قد يوجد إنزيم معين بأشكال مختلفة قليلاً تُسمى الإنزيمات المتشابهة)isoenzymes(، فى خلايا مختلفة. تقوم الإنزيمات المتشابهة بتحفيز نفس التفاعلات الكيميائية ولكن لها اختلافات هيكلية كافية تسمح بتمييزها باستخدام تقنيات المختبر القياسية. هذا مفيد فى تشخيص الأمراض. عندما تتعرض الأعضاء للمرض، تتحلل بعض الخلايا وتطلق إنزيمات متشابهة محددة يمكن اكتشافها فى الدم. عادةً، هذه الإنزيمات المتشابهة لا تكون موجودة فى الدم أو تكون بتركيزات منخفضة جداً. ارتفاع مستوياتها فى الدم يمكن أن يساعد فى تحديد الخلايا المتضررة فى الجسم.

على سبيل المثال، كرياتين كيناز)CK(يوجد بأشكال مختلفة فى خلايا مختلفة. ارتفاع مستوى CK-1 فى المصل يشير إلى تحلل العضلات الهيكلية وهو أحد علامات الحثل العضلى. ارتفاع مستوى CK-2 يشير إلى مرض القلب، لأن هذا الإنزيم المتشابه يأتى فقط من عضلة القلب. هناك خمسة إنزيمات متشابهة للاكتيت ديهيدروجيناز)LDH(. قد يشير ارتفاع مستوى LDH-1 فى المصل إلى ورم فى المبايض أو الخصيتين، بينما قد يشير LDH-5 إلى مرض فى الكبد أو الحثل العضلى. إنزيمات متشابهة مختلفة للفوسفاتاز فى الدم قد تشير إلى أمراض العظام أو البروستاتا.

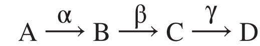
فى الجسم، نقوم بنفس التفاعل وأكسدة الجلوكوز إلى ماء وثانى أكسيد الكربون لاستخلاص طاقته. ومع ذلك، لا يمكننا تحمل حرارة الاحتراق فى أجسامنا، لذلك يجب أن نؤكسد الجلوكوز بطريقة أكثر تحكماً عند درجة حرارة بيولوجية ممكنة وآمنة. تقوم الإنزيمات بتحقيق ذلك عن طريق خفض طاقة التنشيط — أى تقليل الحاجز أمام أكسدة الجلوكوز)الشكل 2.26ب(— وعن طريق إطلاق الطاقة على خطوات صغيرة بدلاً من دفعة واحدة من الحرارة.

العوامل المساعدة

حوالى ثلثى إنزيمات الإنسان تتطلب شريكًا غير بروتينى يُسمى عامل
مساعد. تشمل العوامل المساعدة غير العضوية الحديد والنحاس والز
نك والمغنيسيوم وأيونات الكالسيوم. يعمل بعض هذه العوامل عن ط
ريق الارتباط بالإنزيم وتحفيزه على الطى إلى شكل يُفعّل الموقع النش
ط فيه. العوامل المساعدة المشتركة هى عوامل مساعدة عضوية عادةً
ما تُشتق من النياسين، الريبوفلافين، وفيتامينات أخرى قابلة للذوبا
ن فى الماء. تستقبل الإلكترونات من إنزيم فى مسار أيضى واحد وتنق
لها إلى إنزيم فى مسار آخر. على سبيل المثال، تقوم الخلايا بأكسدة جز
يئية للجلوكوز عبر مسار يُسمى التحلل السكرى. عامل مساعد مشترك
يُسمى NAD^+، المُشتق من النياسين[28]، ينقل الإلكترونات من هذا ا
لمسار إلى مسار آخر يُسمى التنفس الهوائى، الذى يستخدم الطاقة ا
لناتجة من الإلكترونات لصنع ATP (الشكل 2.28). إذا لم يتوفر NAD^+، يتوقف مسار التحلل السكرى.

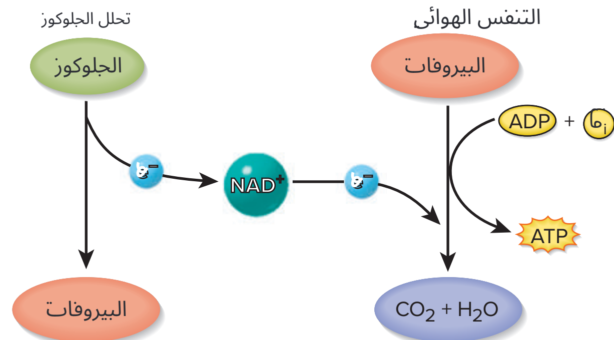
مسارات الأيض

مسار أيضى هو سلسلة من التفاعلات حيث يتم تحفيز كل خطوة عادة
بواسطة إنزيم مختلف. يمكن تمثيل مسار أيضى بسيط



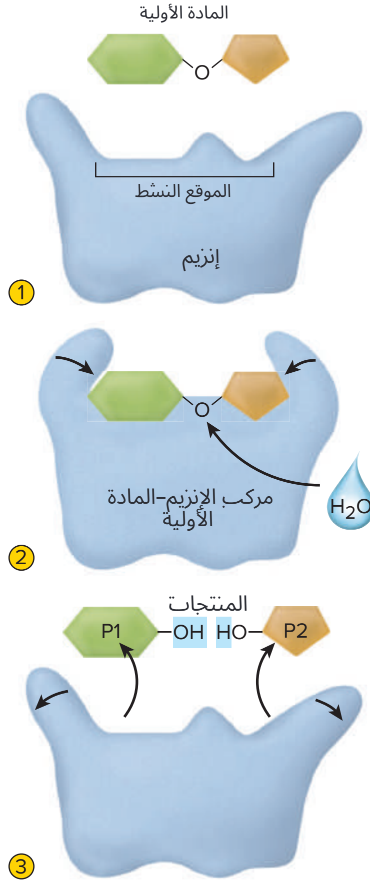
$$A \xrightarrow{\alpha} B \xrightarrow{\beta} C \xrightarrow{\gamma} D$$

حيث A هو المتفاعل *الأولى*، B و C هما *الوسطاء*، و D هو *المنتج ا
لنهائى*. تمثل الحروف اليونانية فوق أسهم التفاعل الإنزيمات التى تح
فز كل خطوة من التفاعل. A هو المادة الأولية للإنزيم α، و B هو المادة
الأولية للإنزيم β، و C هو المادة الأولية للإنزيم γ. يمكن تشغيل أو إيقا
ف مثل هذا المسار عن طريق تغيير تكوين أى من هذه الإنزيمات، مم
ا يؤدى إلى تفعيلها أو تعطيلها. يمكن تحقيق ذلك من خلال وسائل م
ثل ارتباط أو انفصال عامل مساعد، أو عن طريق ارتباط منتج نهائى ل
لمسار بإنزيم فى خطوة سابقة (على سبيل المثال، ارتباط المنتج D با
لإنزيم α وإيقاف سلسلة التفاعل عند تلك الخطوة). بهذه الطرق وغيره
ا، تستطيع الخلايا تشغيل مسارات الأيض عندما تكون منتجاتها النها
ئية مطلوبة وإيقافها عندما لا تكون المنتجات النهائية مطلوبة.



الشكل 2.28 عمل الإنزيم المساعد. يعمل الإنزيم المساعد مثل NAD^+ كناقل
يلتقط الإلكترونات من مسار أيضى واحد (فى هذه الحالة، تحلل الجلوكوز) و
ينقلها إلى مسار آخر (فى هذه الحالة، التنفس الهوائى).

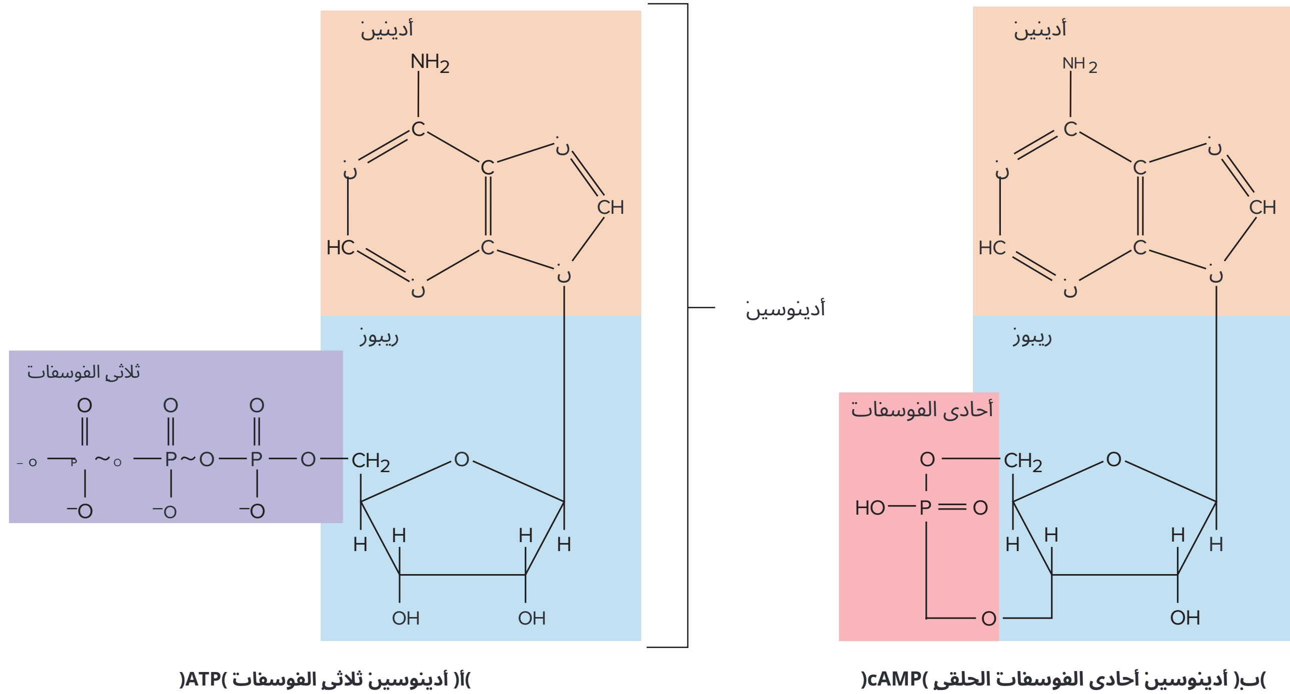
[28] نيكوتيناميد أدينين دينوكليوتيد



الشكل 2.27 الخطوات الثلاثة للتفاعل الإنزيمى.

نظرًا لأن الإنزيم لا يُستهلك فى التفاعل الذى يحفزه، يمكن لجزى
ء إنزيم واحد أن يستهلك ملايين جزيئات الركيزة، وبسرعة مذهلة. على
سبيل المثال، يكسر جزيء واحد من أنزيم الكربونيك أنهيدراز حمض ا
لكربونيك (H_2CO_3) إلى H_2O و CO_2 بمعدل 36 مليون جزىء فى الدق
يقة.
العوامل التى تغير شكل الإنزيم - لا سيما درجة الحرارة ودرجة الح
موضة (pH) - تميل إلى تغيير أو تدمير قدرة الإنزيم على الارتباط بركيز
ته. فهى تعطل الروابط الهيدروجينية والقوى الضعيفة الأخرى التى تحا
فظ على الإنزيم فى شكله الصحيح، مما يغير بشكل أساسى شكل "ال
قفل" بحيث لا يعود "المفتاح" مناسبًا. تختلف الإنزيمات فى درجة ال
حموضة المثلى حسب المكان الذى تعمل فيه عادة فى الجسم. على
سبيل المثال، يعمل الأميلاز اللعابى، الذى يهضم النشا فى الفم، بش
كل أفضل عند pH 7 ويتعطل عند تعرضه لحمض المعدة؛ والبيبسين
، الذى يعمل فى البيئة الحمضية للمعدة، يعمل بشكل أفضل عند pH
حوالى 2؛ والتربسين، وهو إنزيم هضمى يعمل فى البيئة القلوية للأمع
اء الدقيقة، له درجة حموضة مثلى تبلغ 9.5. ومع ذلك، فإن درجة حرار
ة الجسم الداخلية متقاربة فى كل مكان، وجميع الإنزيمات البشرية لها
درجة حرارة مثلى قريبة من 37 درجة مئوية حيث تنتج أسرع معدلات
تفاعل لها.

▶▶▶ طبق ما تعرفه
لماذا تعتمد وظيفة الإنزيم على التوازن الداخلى (الاستتباب)؟



الشكل 2.29 نوكليوتيدان رئيسيان. (أ) أدينوسين ثلاثى الفوسفات (ATP). (ب) أدينوسين أحادى الفوسفات الدورى (cAMP). آخر رابطتى P~O فى ATP، الم
شار إليهما بخطوط متموجة، هما روابط عالية الطاقة.

كل مول (505 جرام) من ATP. يهرب معظم هذه الطاقة على شكل حر
ارة، لكننا نعيش على الجزء منها الذى يؤدى عملًا مفيدًا. يمكننا تلخي
ص ذلك كما يلى:



$$ATP + H_2O \xrightarrow{ATPase} ADP + P_i + Energy \rightarrow Heat,\ Work$$

تُضاف مجموعات الفوسفات الحرة التى تُطلق من تحلل ATP غا
لبًا إلى الإنزيمات أو جزيئات أخرى لتنشيطها. يُسمى هذا الإضافة iP، أ
و الفسفرة، وتتم بواسطة إنزيمات تُسمى الكينازات. فى بعض الأح
يان تكون فسفرة الإنزيم هى "المفتاح" الذى يشغّل أو يوقف مسارًا أ
يضيًا.

ATP هو جزىء قصير العمر، يُستهلك عادة خلال
60 ثانية من تكوينه. الكمية الكاملة فى الجسم ستدعم الحياة لأقل م
ن دقيقة واحدة إذا لم يتم تجديدها باستمرار. عند معدل نشاط بدنى م
عتدل، فإن كمية ATP اللازمة ليوم كامل سترن ضعف وزنك. حتى لو
لم تخرج من السرير أبدًا، ستحتاج إلى حوالى 45 كجم (99 رطل) من A
TP للبقاء على قيد الحياة ليوم واحد. السبب فى أن ا
لسيانيد قاتل جدًا هو أنه يوقف تخليق ATP.

يتم شرح تخليق ATP بالتفصيل فى الفصل 26، ولكنك ستجد م
ن الضرورى أن تتعرف على الفكرة العامة له قبل أن تصل إلى ذلك ال
فصل—خاصة فى فهم فسيولوجيا العضلات (الفصل 11). يأتى معظ
م الطاقة اللازمة لتخليق ATP من أكسدة الجلوكوز (الشكل 2.30). الم
رحلة الأولى فى أكسدة الجلوكوز (الشكل 2.31) هى مسار التفاعل الم
عروف باسم التحلل السكرى (gly-COLL-ih-sis). هذا يعنى حرفيًا "ا
نقسام السكر"، وفعليًا تأثيره الرئيسى هو تقسيم جزىء الجلوكوز المكو
ن من ست ذرات كربون إلى جزيئين من ثلاث ذرات كربون من *البيرو
فات*. يتم إنتاج كمية قليلة من ATP فى هذه المرحلة (عائد صافٍ قدره
2 ATP لكل جلوكوز)، لكن معظم الطاقة الكيميائية لل
جلوكوز لا تزال فى البيروفات.

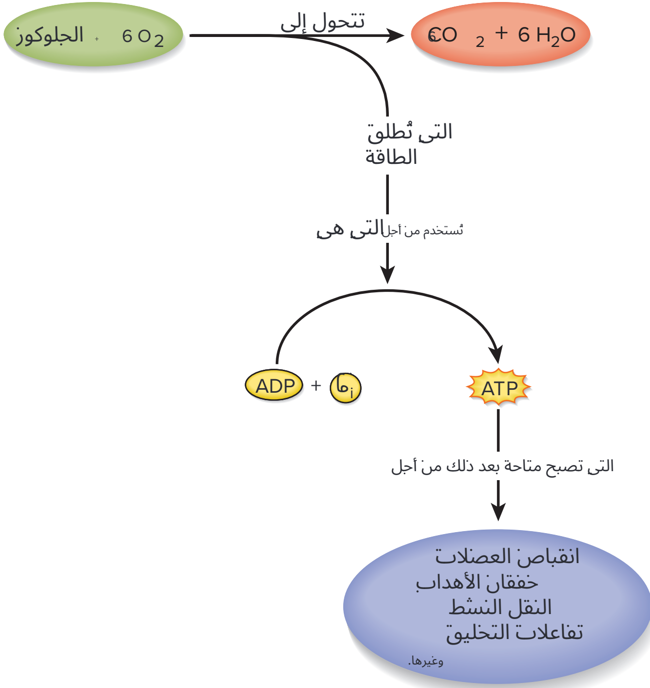
2.4 جرام ATP، نوكليوتيدات أخرى، وأحماض نووية

النوكليوتيدات هى مركبات عضوية تتكون من ثلاثة مكونات رئيسية:
حلقة كربون-نيتروجين مفردة أو مزدوجة تسمى *القاعدة النيتروجينية*،
أحادى السكاريد، ومجموعة أو أكثر من مجموعات الفوسفات. واحدة م
ن أشهر النوكليوتيدات هى ATP (الشكل 2.29أ)، حيث تكون القاعدة
النيتروجينية حلقة مزدوجة تسمى *الأدينين*، والسكر هو الريبوز، وهنا
ك ثلاث مجموعات فوسفات.

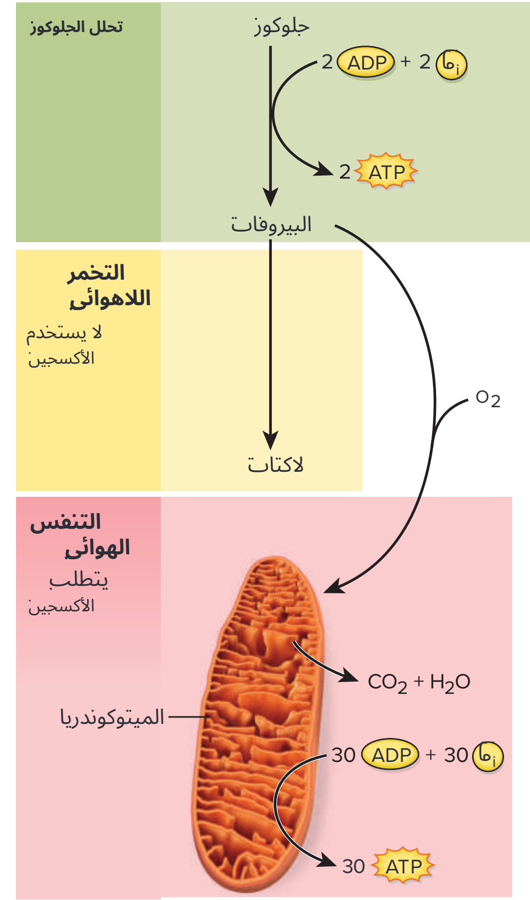
أدينوسين ثلاثى الفوسفات

أدينوسين ثلاثى الفوسفات (ATP) هو أهم جزىء لنقل الطاقة فى الج
سم. يكتسب الطاقة لفترة وجيزة من التفاعلات الطاردة للطاقة مثل أ
كسدة الجلوكوز ويطلقها خلال ثوانٍ للعمل الفسيولوجى مثل تفاعلات
البلمرة، انقباض العضلات، وضخ الأيونات عبر أغشية الخلايا. ترتبط م
جموعة الفوسفات الثانية والثالثة فى ATP ببقية الجزىء بواسطة روا
بط تساهمية عالية الطاقة يُشار إليها تقليديًا بخط متموج (~) فى الص
يغة الهيكلية. نظرًا لأن مجموعات الفوسفات مشحونة سالبًا، فإنها ت
تنافر مع بعضها البعض. يتطلب الأمر رابطة عالية الطاقة لتجاوز قوة ا
لتنافر هذه وربطها معًا—خاصة لإضافة مجموعة الفوسفات الثالثة إلى
سلسلة تحتوى بالفعل على مجموعتين فوسفات مشحونتين سالبًا. م
عظم نقل الطاقة من وإلى ATP ينطوى على إضافة أو إزالة تلك الفو
سفات الثالثة.

الإنزيمات المسماة أدينوسين ثلاثى الفوسفاتازات (ATPases)
متخصصة فى تحلل رابطة الفوسفات الثالثة، مما ينتج أدينوسين ثنا
ئى الفوسفات (ADP) ومجموعة فوسفات غير عضوية (iP). يطلق هذا
التفاعل 7.3 كيلو كالورى (kcal) من الطاقة لـ



الشكل 2.30 مصدر واستخدامات ATP.



الشكل 2.31 إنتاج ATP. ينتج التحلل السكرى البيروفات وكسبًا صافيًا من جزيئى ATP. يحول التخمر اللاهوائى البيروفات إلى لاكتات ويسمح للتحلل السكرى بالاستمرار فى إنتاج ATP فى غياب الأكسجين. ينتج التنفس الهوائى كمية أكبر بكثير من ATP ولكنه يتطلب الأكسجين.

مجموعات الفوسفات من ATP. فى كثير من الحالات، عندما يرتبط هرمون أو إشارة كيميائية أخرى)"المرسال الأول"(بسطح الخلية، يفعّل رد فعل داخلى يحول ATP إلى cAMP. ثم يعمل cAMP كـ "المرسال الثانى" لتنشيط التأثيرات الأيضية داخل الخلية.

الأحماض النووية

الأحماض النووية (new-CLAY-ic) هى بوليمرات من النيوكليوتيدات. أكبرها، الحمض النووى الريبوزى منقوص الأكسجين)DNA(، عادةً ما يكون طوله من 100 مليون إلى مليار نيوكليوتيد. يشكل جيناتنا، ويعطى التعليمات لتخليق جميع بروتينات الجسم، وينقل المعلومات الوراثية من خلية إلى أخرى عند انقسام الخلايا ومن جيل إلى جيل عند تكاثر الكائنات الحية. ثلاث أشكال من الحمض النووى الريبوزى)RNA(، التى تتراوح أطوالها من 70 إلى 10,000 نيوكليوتيد، تقوم بتنفيذ تلك التعليمات وتخليق البروتينات، حيث تجمع الأحماض الأمينية بالترتيب الصحيح لإنتاج كل بروتين "موصوف" بواسطة DNA. يتم وصف التركيب التفصيلى لـ DNA وRNA وآليات تخليق البروتين والوراثة فى الفصل 4.

ما يحدث للبيروفات يعتمد على كمية الأكسجين المتاحة مقارنةً بطلب ATP. عندما يتجاوز الطلب على ATP إمداد الأكسجين، يتم تحويل فائض البيروفات إلى لاكتات عبر مسار يُسمى التخمير اللاهوائى[29] (AN-err-OH-bic).
لهذا المسار عيبان ملحوظان: أولاً، لا يستخلص أى طاقة إضافية من البيروفات؛ وثانيًا، اللاكتات التى ينتجها سامّة، لذا يمكن لمعظم الخلايا استخدام التخمير اللاهوائى فقط كإجراء مؤقت. الميزة الوحيدة لهذا المسار هى أنه يمكّن التحلل السكرى من الاستمرار)لأسباب موضحة فى الفصل 26(وبالتالى يمكّن الخلية من الاستمرار فى إنتاج كمية صغيرة من ATP.

إذا كان هناك ما يكفى من الأكسجين، يحدث مسار أكثر كفاءة يُسمى التنفس الهوائى. يقوم هذا المسار بتفكيك البيروفات إلى ثانى أكسيد الكربون والماء وينتج ما يصل إلى 30 جزيئًا إضافيًا من ATP لكل جزيء جلوكوز أصلى. تتم التفاعلات الخاصة بالتنفس الهوائى فى الميتوكوندريا للخلية، والتى سيتم وصفها فى الفصل التالى، لذا تُعتبر الميتوكوندريا "مصانع ATP" الرئيسية للخلية.

نوكليوتيدات أخرى

ثلاثى فوسفات الجوانوزين)GTP((GWAH-no-seen) هو نوكليوتيد آخر يشارك فى نقل الطاقة. فى بعض التفاعلات، يتبرع بمجموعات الفوسفات لجزيئات أخرى. على سبيل المثال، يمكنه التبرع بمجموعة الفوسفات الثالثة إلى ADP لإعادة توليد ATP.
أدينوزين أحادى الفوسفات الحلقى)cAMP( )الشكل 2.29ب(هو نوكليوتيد يتكون بإزالة كل من المجموعة الثانية والثالثة

---

[29] an = بدون؛ aer = هواء، أكسجين؛ obic = متعلق بالحياة



نظرة أعمق 2.6

التطبيق السريرى

إساءة استخدام الستيرويدات



الشكل 2.32 تأثير الاستخدام المكثف للستيرويدات الابتنائية-ا
لأندروجينية.

Master1305/Shutterstock

من الأخبار الروتينية سماع تعليق أو سحب ألقاب المشاهير الرياضيين بسبب ا
ستخدام الستيرويدات الابتنائية. تحمل مجلات الثقافة البدنية العديد من التقارير ا
لمأساوية عن وفاة الرياضيين الهواة، أو الجرائم العنيفة التى ارتكبوها، والتى تُعزى إ
لى إساءة استخدام الستيرويدات.

الستيرويدات الابتنائية، كما تُعرف فى الشارع، تُسمى بشكل أدق الستيرويدا
ت الابتنائية-الأندروجينية[30]. هى هرمونات مشتقة من التستوستيرون تحفز نمو ال
عضلات)التأثير الابتنائى(وتُذكّر الجسم)التأثير الأندروجينى(. ربما كانت أول فكرة
لاستخدامها نشأت فى ألمانيا النازية، حيث تم إعطاء التستوستيرون لقوات SS ف
ى محاولة لجعلهم أكثر عدوانية—ولكن دون نجاح مثبت. فى الخمسينيات، عندما
كانت فرق رفع الأثقال السوفيتية تهزم الفرق الأمريكية بانتظام، تبين أن السوفيي
ت كانوا يستخدمون التستوستيرون كمُحسّن للأداء. بدأ الطبيب الأمريكى جون زيغ
لر فى تجربة ذلك فى الولايات المتحدة. لم يعجبه الآثار الجانبية الأندروجينية فتوجه
إلى شركة Ciba للأدوية لتطوير نظير للتستوستيرون)جزىء ذو تركيب معدل قلي
لاً(يعزز التأثير الابتنائى ويضعف التأثير الأندروجينى. وسرعان ما طورت Ciba دواء
ديانابول.أحدث تأثيرات مذهلة فى رافعى الأثقال وبحلول الستينيات، كانت عدة
نظائر للتستوستيرون متاحة بحرية وقانونياً، مصممة لتعزيز الفعالية الابتنائية، وتق
ليل التأثيرات الأندروجينية، وإطالة نصف عمر الدواء فى الجسم. بعضها يُؤخذ عن
طريق الفم والبعض الآخر عن طريق الحقن العضلى)I.M.(.

بجرعات محدودة، لهذه الستيرويدات استخدامات طبية مشروعة مثل علاج ف
قر الدم، وسرطان الثدى، وهشاشة العظام، وبعض أمراض العضلات، ولمنع ضمور
العضلات لدى المرضى الذين يعانون من عدم الحركة.

ومع ذلك، يستخدم بعض الرياضيين الهواة والمحترفين هذه الستيرويدات بجرعا
ت أقوى من الجرعات العلاجية بمقدار 10 إلى 1000 مرة. بينما تزيد هذه الجرعات
من حجم العضلات)الشكل 2.32(، لها تأثيرات خفية ومدمرة على الجسم. فهى
ترفع مستويات الكوليسترول، مما يعزز التحلل الدهنى للشرايين)تصلب الشرايي
ن(. وهذا يمكن أن يؤدى إلى مرض الشريان التاجى، وفشل القلب والكلى، والس
كتة الدماغية. كما أن تدهور الدورة الدموية يؤدى أحياناً إلى الغرغرينا، وقد عانى الع
ديد من المستخدمين من بتر الأطراف السفلية نتيجة لذلك. ومع محاولة الكبد ال
تخلص من التركيز العالى للستيرويدات، قد تحدث سرطانات الكبد وأمراض كبدية
أخرى. بالإضافة إلى ذلك، تثبط الستيرويدات الجهاز المناعى، مما يجعل المستخ
دم أكثر عرضة للعدوى والسرطان. كما تسبب نهاية مبكرة لإطالة العظام، لذا قد لا
يصل الأشخاص الذين يستخدمون الستيرويدات الابتنائية فى سن المراهقة إلى ا
لطول الطبيعى للبالغين.

ومن المفارقات، أن الستيرويدات الابتنائية-الأندروجينية يمكن أن تسبب تأثيرا
ت تذكير للنساء وتأثيرات تأنيث للرجال. فى النساء، اللواتى يكنّ حساسيات خا
صة للتأثير الأندروجينى، غالباً ما تسبب هذه الستيرويدات نمو شعر الوجه، وتضخ
م البظر، وضمور الثدى والرحم، واضطرابات فى الإباضة والدورة الشهرية.

يقوم الجسم بتحويل فائض التستوستيرون إلى الإستروجينات. فى الرجال، يمكن أ
ن يكون لهذه العملية تأثير مؤنث مثل تضخم الثدى)تثدى(، وكذلك تسبب ضمور
الخصيتين، ضعف الانتصاب)عدم القدرة على تحقيق أو الحفاظ على الانتصاب(،
انخفاض عدد الحيوانات المنوية، والعقم.

خاصةً عند الرجال، يمكن أن يرتبط تعاطى الستيرويدات بشكل مفرط باضطرا
بات عاطفية شديدة. تختلف حساسية الأفراد، لكن التأثيرات الأندروجينية تشمل ز
يادة العدوانية وتقلبات المزاج غير المتوقعة، لذا يتأرجح بعض المتعاطين بين الاك
تئاب والعنف)"غضب الستيرويد"(، بما فى ذلك الاعتداء الجسدى على أفراد الأ
سرة وجرائم خطيرة مثل القتل.

مع انتشار الاستخدام الترفيهى للستيرويدات الابتنائية-الأندروجينية، ظهرت أي
ضًا الآثار الجانبية المأساوية لهذا الاستخدام المكثف — وهو الأمر الذى ندم عليه ا
لدكتور زيجلر بشدة باعتباره أدنى نقطة فى مسيرته المهنية.
صنّف الكونغرس الأمريكى الستيرويدات الابتنائية-الأندروجينية كمادة خاضعة للر
قابة فى عام 1991. وقد أدانت الجمعية الطبية الأمريكية وكلية الطب الرياضى الأم
ريكية استخدامها فى الرياضة، وحظرت اللجنة الأولمبية الدولية، ورابطة كرة القدم ا
لوطنية، ورابطة لاعبى دورى البيسبول الرئيسى، ورابطة كرة السلة الوطنية، ورابطة
الرياضة الجامعية الوطنية استخدامها.

ومع ذلك، وعلى الرغم من هذه التحذيرات والحظر، لا يزال الكثيرون يستخدمو
ن الستيرويدات والعقاقير المحسنة للأداء ذات الصلة، والتى تظل متاحة من خلال
مدربين وأطباء غير نزهاء، ومصادر الإنترنت، وموردى البريد الخارجى الأجانب تح
ت غطاء أسماء تجارية مربكة)Dianabol، Oxandrin، Anadrol، Durabolin،
Primobolan، Winstrol، وغيرها(. ووفقًا لبعض التقديرات، يستخ
دم ما يصل إلى 80% من رافعى الأثقال التنافسيين، و30% من الرياضيين الجامع
يين والمحترفين، و20% من الرياضيين الذكور فى المدارس الثانوية الستيرويدات
الابتنائية-الأندروجينية. وتجد المعاهد الوطنية للصحة زيادة فى الاستخدام بين طلا
ب المدارس الثانوية وزيادة فى الإنكار بأن الستيرويدات تشكل خطرًا صحيًا كبيرًا.

---

[30] *andro*= ذكر؛ *genic*= إنتاج

20. أى الهيكلين من البروتين من المرجح أن يتغير عند التسخين، اله يكل الأولى أم الهيكل الثلاثى؟ اشرح.
21. استخدم تشبيه القفل والمفتاح لشرح سبب إمكانية أن تدمر ال سوائل الجسدية شديدة الحموضة)الحماض(وطيفة الإنزيم.
22. كيف يغير ATP هيكله فى عملية إطلاق الطاقة؟
23. ما هى الميزة والعيب فى التخمر اللاهوائى مقارنة بالتنفس الهوا ئى؟
24. كيف يرتبط الحمض النووى)DNA(بالنيوكليوتيدات؟

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

16. أى التفاعلين—تفاعل التجفيف)التركيب بالتخلص من الماء(أ م التحلل المائى—يقوم بتحويل البوليمر إلى مونومراته؟ وأى منهما يحول المونومرات إلى بوليمر؟ اشرح إجابتك.
17. ما هو الاسم الكيميائى لسكر الدم؟ أى كربوهيدرات يتم بلمرتها لتكو ين النشا والجليكوجين؟
18. ما هو التشابه الكيميائى الرئيسى بين الكربوهيدرات والدهون؟ وما هى الفروقات الرئيسية بينهما؟
19. اشرح العبارة: جميع البروتينات هى بولى ببتيدات ولكن ليس كل البولى ببتيدات هى بروتينات.

دليل الدراسة

قيّم نتائج تعلمك

لاختبار معرفتك، ناقش المواضيع التالية مع شر يك دراسة أو كتابةً، ويفضل أن يكون ذلك من الذا كرة.

2.1 الذرات، الأيونات، والجزيئات

1. تعريف *العنصر الكيميائى*؛ العناصر الستة الأكثر وفرة فى جسم الإنسان؛ والعناصر النزرة المهمة فى الفسيولوجيا البشرية
2. تركيب الذرة والأهمية الوظيفية الخاصة لإ لكترونات التكافؤ الخاصة بها
3. كيف تختلف نظائر نفس العنصر عن بع ضها البعض، وكيف تختلف النظائر المشعة ع ن النظائر الأخرى
4. الأهمية السريرية للإشعاع المؤين؛ أشكاله الثلا ثة؛ الفرق بين نصف العمر الفيزيائى ونصف العمر البيولوجى للنظير المشع؛ والأهمية ال سريرية لذلك الفرق
5. الفرق بين الأيون والذرة؛ كيف تتكون الأيونات ؛ ونوعا الأيونات مع أمثلة لكل منهما
6. كيف يختلف الإلكتروليت عن الذرة وعن الأيون ؛ الأيونات الأكثر شيوعًا التى تشكل الإلك تروليتات؛ ووظائف الإلكتروليتات وأهميتها ال طبية
7. تعريف الجذر الحر؛ الأهمية الطبية للجذور ال حرة؛ وكيف يحمى الجسم جزئيًا منها
8. تعريفات الجزىء والمركب
9. كيف تتشابه الأيزومرات وتختلف عن بعضها البع ض
10. كيف يتم تحديد الوزن الجزيئى للجزىء
11. طبيعة وخصائص الروابط الأيونية، والروابط الت ساهمية، وروابط الهيدروجين، وقوى فان دير فال؛ كيف تختلف الروابط التساهمية القطبية و غير القطبية عن بعضها البعض؛ وكيف يمك ن للروابط التساهمية القطبية أن تؤدى إلى تكوين روابط هيدروجينية

٢.٢ الماء والمخاليط

1. كيف تنشأ الخصائص البيولوجية المهمة للماء من قطبية وزاوية الرابطة فى جزيئاته
2. الفرق بين المخلوط والمركب
3. الاختلافات بين المحاليل، الغرويات، والمعلقا ت، وأمثلة على سوائل الجسم فى كل فئة
4. كيفية تعريف الرقم الهيدروجينى)pH(رياضيًا؛ مقياس الرقم الهيدروجينى؛ ومعانى الحمض والقا عدة
5. عمل ووظيفة العازلات الفسيولوجية
6. كيف تختلف مقاييس التركيز الكيميائى ا لمختلفة عن بعضها البعض — الوزن لكل حجم، النسبة المئوية، المولارية، والمكا فئات المليّة لكل لتر — وكيف يوفر كل وح دة قياس أنواعًا مختلفة من المعلومات حول تركيز المحلول

٣.٢ الطاقة والتفاعلات الكيميائية

1. تعريف الطاقة، والشكلان الأساسيان للطاقة
2. الاختلافات بين تفاعلات التحلل، التكوين، وتفاعلات التبادل
3. ما الذى يحدد اتجاه التفاعل الكيميائى العكوس ؛ طبيعة التوازن الكيميائى
4. العوامل التى تحدد معدل التفاعل الكيميائى
5. تعريف *الأيض* وتقسيمه الفرعيّان
6. الفرق بين الأكسدة و الاختزال

2.4 المركبات العضوية

1. المعيار الذى يُعتبر بموجبه المركب عضويًا
2. الفرق بين الهيكل الكربونى والمجموعة الوظ فية)المجموعات(فى الجزىء العضوى؛ الأ همية الفسيولوجيةللمجموعات الوظيفية
3. هياكل المجموعات الوظيفية الهيدروكسيل، الم يثيل، الكربوكسيل، الأمينو، والفوسفات
4. الفرق بين المونومرات والبوليمرات؛ كيف تحوّ ل تفاعلات التخليق بالتجفيف والتفاعلات اله يدروليزية أحدهما إلى الآخر؛ ودور الماء فى كلا النوعين من التفاعلات
5. الخصائص المميزة للكربوهيدرات وأدوارها الرئيسية فى الجسم
6. أسماء والاختلافات الهيكلية الأساسية بين ثلاثة أحاديات السكاريد، وثلاثة ثنائيات الس كاريد، وثلاثة متعددات السكاريد الأكثر وفرة فى النظام الغذائى والأكثر صلة بالفسيولوجيا ا لبشرية
7. الخصائص المميزة للدهون وأدوارها الرئي سية فى الجسم
8. الفئات الرئيسية للدهون فى علم وظائف ا لأعضاء البشرى، وأدوار كل منها

دراسة دليل

21. المكونات الهيكلية الأساسية لأدينو سين ثلاثى الفوسفات)ATP(وتنظيمها فى الجزىء؛ وظيفة ATP ولماذا يتوقف الحياة فوراً بدونه؛ وأين فى تركيبته الجزيئية يحمل ATP الطاقة التى تُنقل إلى مواد كى ميائية أخرى

22. الاختلافات بين آليات إنتاج ATP الهوائية واللاهوائية

23. كيف يرتبط ثلاثى فوسفات الجوانوزين)GTP(وأحادى فوسفات الأدينوزين الحلقى)cAMP (بـ ATP، ووظائفهما

24. الطبيعة الكيميائية الأساسية للأحماض الن ووية، DNA وRNA؛ وظيفتهما الأساسية؛ و كيف يرتبطان هيكليًا بـ ATP

15. ما الذى يحدد البروتين *المترافق* ؛ المصطلح ا لعام للمكون غير البروتينى فى مثل هذه الجز يئات؛ وأمثلة على البروتينات المترافقة

16. وظائف البروتينات فى التشريح البشرى والفسيولوجيا

17. كيف تختلف الإنزيمات عن البروتينات الأخرى، و الدور العام الذى تلعبه جميع الإنزيمات

18. المصطلح العام للمواد التى تتفاعل معها الإنزيمات؛ أهمية المواقع النشطة فى عمل الإنزيم؛ لماذا تحد المواقع النشطة من نطاق المواد التى يمكن للإنزيم أن يتفاعل معها؛ واسم هذا المبدأ فى اختيار عمل الإنزيم الانتقائى

19. طبيعة العوامل المساعدة والإنزيمات المساعدة، مع أمثلة

20. المصطلح لسلسلة من التفاعلات الإنزيمية المتصلة؛ للمدخلات والمخرجات؛ وللخطوا ت الوسيطة بين جزيئات المدخلات والمخرجا ت

9. كيف ترتبط الأحماض الدهنية وثلاث الجليسريد م ن خلال تفاعلات التخليق بالتخلص من الماء وال تحلل المائى

10. الخصائص المميزة للأحماض الأمينية وكيف تختلف الأحماض الأمينية العشرون المشاركة ف ى تركيب البروتين عن بعضها البعض

11. كيف يتم بلمرة الأحماض الأمينية، وتركيب ا لروابط الببتيدية

12. الاختلافات بين الديببتيد، الأوليغوببتيد، البو لى ببتيد، والبروتين

13. طبيعة المستويات الهيكلية من الأولية إلى ا لرباعية للبروتين، وكيف يختلف اللولب ألفا ع ن الورقة بيتا

14. لماذا تعتمد وظيفة البروتين بشكل كبير على شكل)تكوين(الجزىء؛ كيف ولماذا تتأثر الو ظائف بفقدان البنية)التحلل(؛ وأسباب ال تحلل الأكثر شيوعًا للبروتين

الإجابات فى الملحق أ

اختبار استدعاء المعلومات الخاصة بك

9. أى من الوظائف التالية أكثر تميزًا للكربوهيد رات مقارنة بالبروتينات؟
أ. الانقباض
ب. تخزين الطاقة
ج. تحفيز التفاعلات
د. الدفاع المناعى
هـ. الاتصال بين الخلايا

10. الميزة التى تميز الدهون أكثر من الكربوهيدرا ت هى أن الدهون تحتوى على
أ. فوسفات أكثر.
ب. كبريت أكثر.
ج. نسبة أقل من الكربون إلى الأكسجين.
د. نسبة أقل من الأكسجين إلى الهيدروجين.
هـ. وزن جزيئى أكبر.

11. عندما يتخلى الذرة عن إلكترون ويكتسب شحنة موجبة، يُسمى ذلك ______.

12. مضادات الأكسدة الغذائية مهمة لأنها تقوم بتحييد ______.

13. أى مادة تزيد من معدل التفاعل دون أن تُ ستهلك فيه تُسمى ______ . فى جسم الإنسان، ______ تؤدى هذه الوظيفة.

14. جميع تفاعلات التخليق فى الجسم تشكل قسمًا من الأيض يُسمى ______

5. مادة قادرة على الذوبان بحرية فى الماء هى
أ. محبة للماء)هيدروفيلية(.
ب. كارهة للماء)هيدروفوبية(.
ج. مهدرح.
د. مرطب.
أمفيباثيك)ذو طبيعة ثنائيةهالقطبية(.

6. مجموعة الكربوكسيل يرمز لها
أ. — OH.
ب. — NH_2.
ج. — CH_3.
د. — CH_2OH.
هـ. — COOH.

7. الوحيد متعدد السكاريد الذى يُصنع فى الجسم البشرى هو
أ. السليلوز.
ب. الجليكوجين.
ج. الكوليسترول.
د. النشا.
هـ. البروستاجلاندين.

8. ترتيب البولى ببتيد إلى شكل ليفى أو كروى يسمى
أ. التركيب الأولى.
ب. التركيب الثانوى.
ج. التركيب الثلاثى.
د. التركيب الرباعى.
هـ. الهيكل المترافق.

1. مادة تُعتبر ______ مادة تُعتبر مركب كيميائى.
أ. تحتوى على عنصرين مختلفين على الأقل.
ب. تحتوى على ذرتين على الأقل
ج. لها رابطة كيميائية
د. لها غلاف تكافؤ مستقر
هـ. لها روابط تساهمية

2. يتكون الرابطة الأيونية عندما
أ. يلتقى أيونان سالبان.
ب. يلتقى أيونان موجبان.
ج. يلتقى أيون سالب مع أيون موجب.
د. يتم تقاسم الإلكترونات بشكل غير متساوٍ بين النوى.
هـ. تنتقل الإلكترونات بالكامل من ذرة إلى أ خرى.

3. تأين ذرة الصوديوم لإنتاج Na^+ هو مثال على
أ. الأكسدة.
ب. الاختزال.
ج. التحلل.
د. البناء.
هـ. التحلل.

4. أضعف وأقصر الروابط الكيميائية التالية هى
أ. روابط تساهمية قطبية.
ب. روابط تساهمية غير قطبية.
ج. روابط هيدروجينية.
د. روابط أيونية.
هـ. روابط تساهمية مزدوجة.

دراسة دليل

19. عندما يكون الأكسجين محدودًا جدًا لتلبية حاجة الخلية من ATP، يمكن للخلية أن تستخدم مسارً لإنتاج ATP. ______ ا أيضيًا يُسمى

20. المادة التى يتفاعل معها الإنزيم ويتغير بواسطتها تُسمى ______.

17. الدهون الأمفيباثية لأغشية الخلايا تُسمى ______.

18. مشتقة من ______ مادة كيميائية تُسمى ATP وتُستخدم على نطاق واسع كـ "رسول ثان" فى الإشارات الخلوية.

15. تُسمى التفاعل الكيميائى الذى يربط بين جزيئين عضويين لتكوين جزىء أكبر و ينتج الماء كمنتج ثانوى. ______

16. تشير إلى سكر، بينما ______ اللاحقة تشير إلى إنزيم. ______ اللاحقة

بناء مفرداتك الطبية

الإجابات فى الملحق أ

اذكر معنى كل عنصر من عناصر الكلمة، وقدم مصطلحًا طبيًا من هذا الفصل يستخدمه أو تعديلًا طفيفًا له.

1. أ-
2. هوا-
3. أمفى-
4. كالورو-
5. كولو-
6. هيدرو-
7. -مير
8. مونو-
9. oligo-
10. -philic

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

الإجابات فى الملحق أ

اشرح بإيجاز لماذا كل من العبارات التالية خاطئة، أ و أعد صياغتها لتصبح صحيحة.

1. الوحدات البنائية للبوليسكاريد تُسمى الأحماض الأمينية.
2. يتم تخزين معظم طاقة الاحتياطى فى الجسم على شكل ATP.
3. جزيئتان تحتويان على نفس الذرات مرتبة بترتيب مختلف تُسمى النظائر.
4. منتجات الهدم تحتوى على طاقة كيميائية أكثر مما كانت عليه المتفاعلات.
5. البوليسكاريد هو سلسلة من السكريات البسيطة مرتبطة بروابط ببتيدية.
6. الدهون المشبعة تُعرف بأنها الدهون التى لا يمكن إضافة المزيد من الكربون إليها.
7. الإنزيمات غالبًا ما تُستهلك بواسطة التفاعلات التى تحفزها.
8. كلما ارتفعت درجة الحرارة، زادت سرعة عمل الإنزيم.
9. محلول يحتوى على ٢٪ سكروز و٢٪ بيكربونات الصوديوم يحتويان على نفس عدد الجزيئات لكل لتر من المحلول.
10. محلول بدرجة حموضة ٨ يحتوى على تركيز أيونات الهيدرو جين أكبر بعشر مرات من محلول بدرجة حموضة ٧.

اختبار فهمك

1. افترض أن امرأة حامل تعانى من غثيان صباحى شديد وكانت تتقيأ باستمرار لعدة أيام. كيف سيؤثر فقدانها لحمض المعدة على درجة حموضة سوائل جسمها؟ اشرح.

2. افترض أن شخصًا يعانى من نوبة قلق شد يدة يتنفس بسرعة مفرطة ويزفر ثانى أكس يد الكربون أسرع مما ينتجه جسمه. اعتبر تفاع ل حمض الكربونيك فى القسم ٢.٣ب، واشرح ما التأثير الذى سيحدثه هذا التنفس السريع على درجة حموضة دمه. (تلميح: تذكر قانون فعل الكتلة.)

3. فى أحد أشكال التحلل النووى، يتحلل نيوترو ن إلى بروتون وإلكترون ويصدر شعاع غاما. هل ه ذا تفاعل طارد للطاقة أم ماص للطاقة، أم لا ين تمى لأى منهما؟ هل هو تفاعل بناء (أنابولى) أم هدم (كاتابولى)، أم لا ينتمى لأى منهما؟ اشرح كلا الإجابتين.

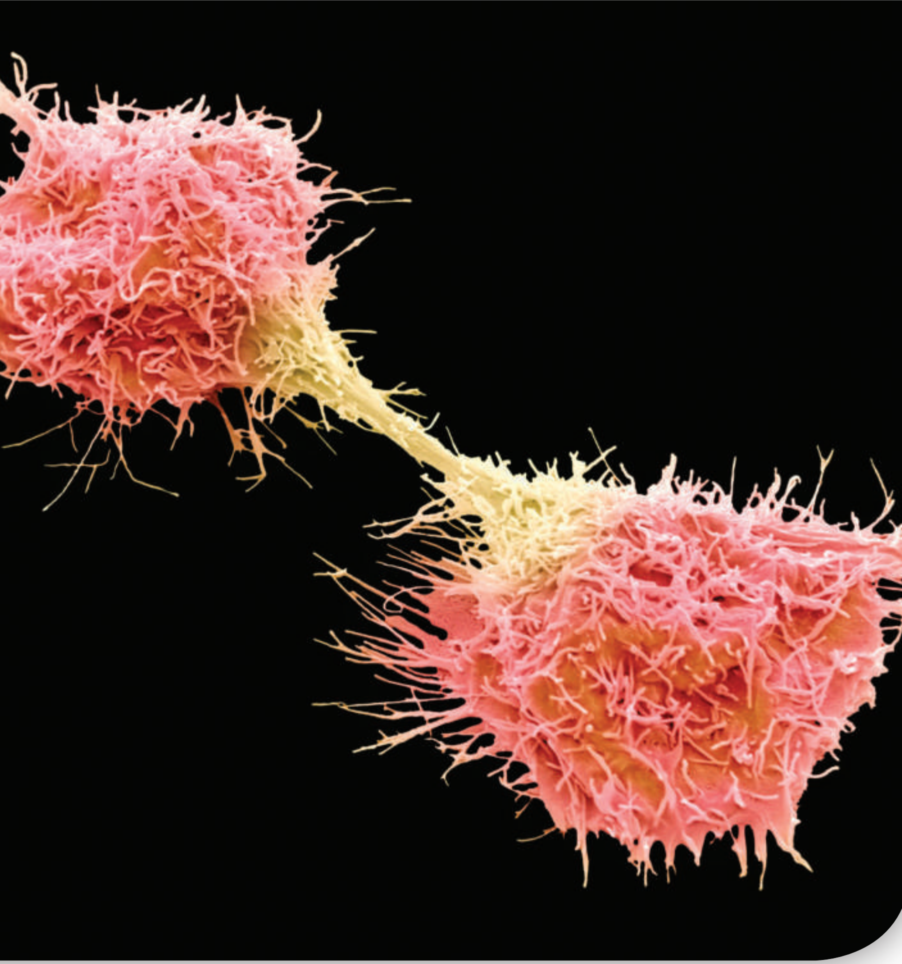
4. كيف سيتأثر معدل الأيض فى الجسم إذا لم تكن هناك إنزيمات؟ اشرح.

5. بعض الحالات الأيضية مثل داء السكرى تسبب اضطرابات فى توازن الحمض والقاعدة فى الجسم، مما يؤدى إلى انخفاض غير طبيعى فى الرقم الهيدروجينى لسوائل الجسم. اشرح كيف يمكن أن يؤثر ذلك على تفاعلات الإنزيم مع الركيزة والمسارات الأيضية فى الجسم.

CHAPTER

3

شكل الخلية والوظيفة



Dividing cancer cells. These are from a fibrosarcoma, a malignant tumor
التى تنشأ من خلايا النسيج الصام المسماة الأرومات الليفية.

ستيف غشمايسنر/براند إكس بيكتشرز/مكتبة صور العلوم/غيتى إيماجز

مخطط الفصل

رؤى أعمق

Anatomy & Physiology Revealed 4.0

Module 2: Cells and Chemistry

"مليئة بالعصائر" — وهو سائل سُمي لاحقًا *السيتوبلازم*. بحلول منتصف القرن التاسع عشر، ومع تطور الأدوات والأساليب الملاحظة، توصل العلماء إلى تعميمات معينة حول الخلايا التى نطلق عليها الآن نظرية الخلية. ويُنسب ذلك بشكل خاص إلى الطبيب-الفسيولوجى الألمانى تيودور شوان)1810–82(والعالم النباتى الألمانى ماتياس شلايدن)1804–81(. وعلى الرغم من تعبيرها بطرق مختلفة، فإن أهم نقاط نظرية الخلية هى:

- جميع الكائنات الحية تتكون من خلية واحدة أو أكثر.
- الخلايا هى الوحدات الهيكلية والوظيفية الأساسية لجميع الكائنات الحية. لا شىء أبسط من الخلية، مثل عضية خلوية، أو DNA، أو إنزيم، يعتبر حيًا بحد ذاته.
- جميع أنشطة الكائن الحى)بما فى ذلك جسم الإنسان(تنشأ من أنشطة خلاياه المكونة له. لذلك، فإن علم الخلايا هو الأساس لكل الفهم البيولوجى للحياة.
- جميع الخلايا تنشأ من خلايا موجودة مسبقًا، وليس من مادة غير حية، وتنقل المعلومات الوراثية من جيل إلى جيل من الخلا يا.

التحديث

- يتم نقل المادة عبر أغشية الخلايا وفقًا لمبادئ التدفق باتجاه التدرجا ت)انظر القسم 1.6e(.
- لفهم بنية سطح الخلية بشكل كافٍ، من الضرورى أن تفهم الجليكولى بيدات والجليكوبروتينات، بالإضافة إلى الفسفوليبيدات وطبيعتها الأم فيباثية)انظر الأقسام 2.4ح و2.4د(.
- لبروتينات أغشية الخلايا وظائف متنوعة للغاية. لفهم هذه الوظا ئف يعتمد على التعرف على وظائف البروتينات بشكل عام وكيف تع تمد وظيفة البروتين على البنية الثلاثية)انظر "بنية البروتين" و"و ظائف البروتين" فى القسم 2.4هـ(.

جميع الكائنات الحية، من الأبسط إلى الأكثر تعقيدًا، تتكون من خلايا — سواء كانت الخلية الوحيدة للبكتيريا أو التريليونات من الخلايا التى تشكل جسم الإنسان. هذه الخلايا مسؤولة عن جميع الخصائص الهيكلية وا لوظيفية للكائن الحى. لذلك، فإن معرفة الخلايا أمر لا غنى عنه لأى فهم حق يقى لعمل جسم الإنسان، وآليات المرض، ومنطق العلاج. وهكذا، يقدم هذا الفصل والفصل التالى علم الأحياء الخلوى الأساسى لجسم الإنسان، وتو سع الفصول اللاحقة هذه المعلومات أثناء فحصنا للبنية والوظيفة الخلوية ا لمتخصصة للأعضاء المحددة.

3.1ب أشكال وأحجام الخلايا

سنقوم قريبًا بفحص بنية خلية نموذجية، لكن التعميمات التى نستخلصها لا يجب أن تغفل عن تنوع شكل ووظيفة الخلايا فى الإنسان. هناك حوالى 200 نوع من الخلايا فى جسم الإنسان، بأشكال وأحجام وظائف متنوعة.

غالبًا ما تشير أوصاف بنية الأعضاء والأنسجة إلى أشكال الخلايا بالمصطلحات التالية)الشكل 3.1(:

- مُسطحة[2])سكواى-مس(—شكل رقيق، مسطح، متقشر، غالبًا مع انتفاخ حيث يقع النواة، يشبه إلى حد كبير شكل بيضة مقل ية "الوجه المشمس". تُبطن الخلايا المسطحة المرىء والحوى صلات الهوائية)الحويصلات(فى الرئتين، وتشكل الطبقة الس طحية)البشرة(للجلد.
- مكعبة[3])كيو-بوى-دول(—تبدو مربعة فى المقاطع الأمامية و متساوية تقريبًا فى الارتفاع والعرض؛ خلايا الكبد مثال جيد عليه ا.
- عمودية—أطول بوضوح من عرضها، مثل خلايا البطانة الداخ لية للمعدة والأمعاء.
- متعددة الأضلاع[4]—ذات أشكال زاويّة غير منتظمة بأربعة أو خمسة أ و أكثر من الجوانب، مثل خلايا الشمع فى قرص العسل. الخلايا المك تظة بكثافة فى العديد من الغدد تكون متعددة الأضلاع.
- نجمية[5]—تمتلك عدة نتوءات مدببة تبرز من جسم الخلية، م ما يمنحها شكلًا يشبه النجمة إلى حد ما. أجسام الخلايا فى العديد من الخلايا العصبية تكون نجمية.

مفاهيم بنية الخلية 3.1

النتائج التعليمية المتوقعة

عندما تكمل هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. مناقشة تطور ومبادئ نظرية الخلية الحديثة؛

ب. وصف أشكال الخلايا من مصطلحاتها الوصفية؛

ج. ذكر نطاق حجم الخلايا البشرية ومناقشة العوامل التى تحد من حجمها؛

د. مناقشة الطريقة التى غيرت بها التطورات فى المجهر رؤيتنا لبن ية الخلية؛ و

هـ. حدد المكونات الرئيسية للخلية.

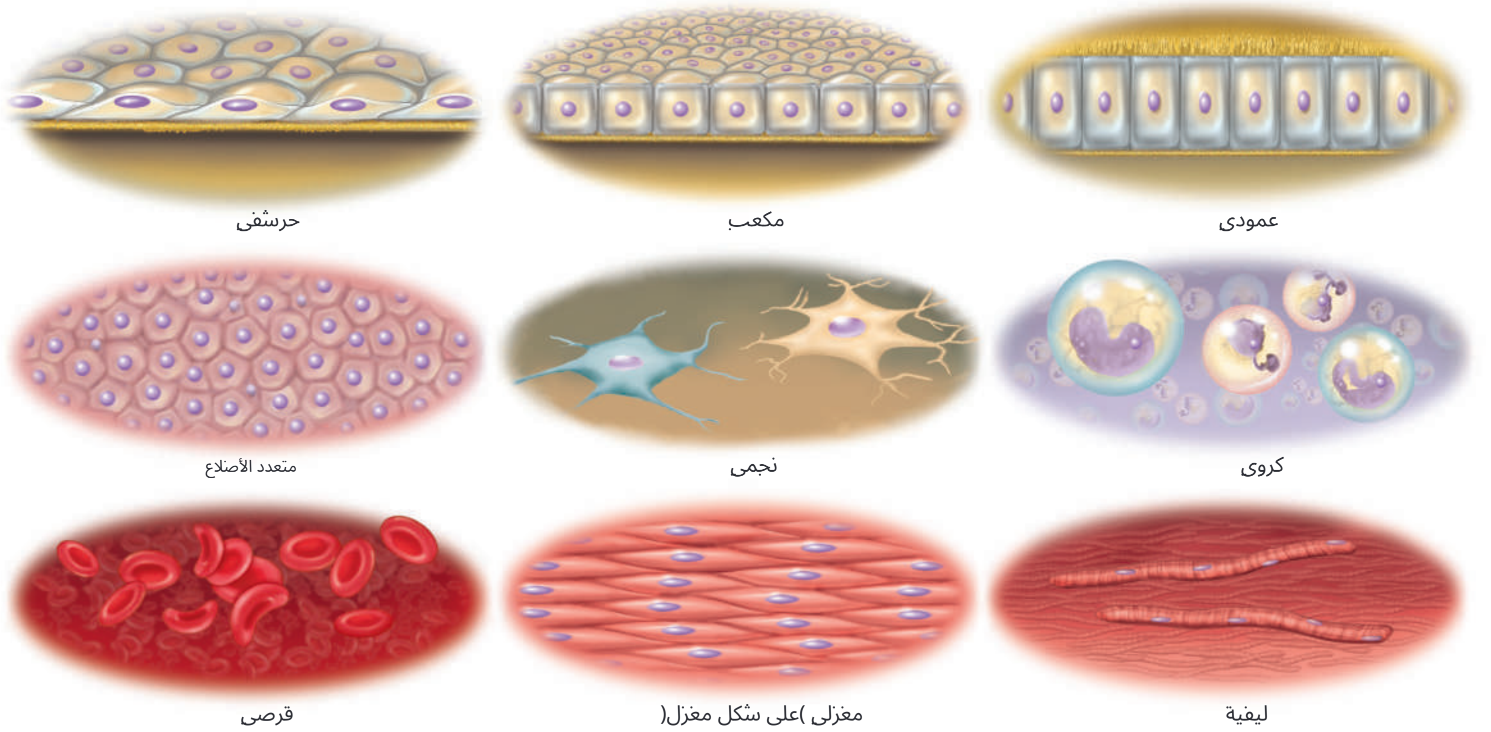
3.1أ تطوير نظرية الخلية

علم الخلايا،[1] الدراسة العلمية للخلايا، وُلد فى عام 1663 عندما لاحظ روبرت هوك جدران الخلايا الفارغة فى الفلين وابتكر كلمة *cellulae*)"الخلايا الصغيرة"(لوصفها)انظر القسم 1.2(. سرعان ما درس شرائح رقيقة من الخشب الطازج ورأى خلايا حية

---

[2] *سكوام* = قشرة؛ *أوس* = مميزة بـ
[3] *كيوب* = مكعب؛ *أيدال* = مثل، يشبه
[4] *poly* = كثير؛ *gon* = زوايا
[5] *stell*= نجم؛ *ate*= يشبه، يتميز بـ

[1] *سايتو* = خلية؛ *لوجى* = دراسة



APR الشكل 3.1 أشكال الخلايا الشائعة.

هناك عدة عوامل تحد من حجم الخلايا. إذا انتفخت الخلية إلى حجم مفرط، فقد تتمزق مثل بالون ماء مملوء بشكل زائد. بالإضافة إلى ذلك، يقتصر حجم الخلية على العلاقة بين حجمها ومساحة سطحها. مساحة سطح الخلية تتناسب مع مربع قطرها، بينما الحجم يتناسب مع مكعب قطرها. لذلك، مع زيادة معينة في القطر، يزداد الحجم أكثر بكثير من مساحة السطح. تخيل خلية مكعبة طول كل جانب منها 10 ميكرومتر)الشكل 3.2(. سيكون لها مساحة سطح تبلغ 600 ميكرومتر^2)10 ميكرومتر × 10 ميكرومتر × 6 جوانب(وحجم 1,000 ميكرومتر^3)10 × 10 × 10 ميكرومتر(. الآن، افترض أنها نمت بمقدار 10 ميكرومتر أخرى على كل جانب. ستكون مساحة سطحها الجديدة 2,400 ميكرومتر^2)20 ميكرومتر × 20 ميكرومتر × 6(وحجمها سيكون 8,000 ميكرومتر^3)20 × 20 × 20 ميكرومتر(. الخلية التي يبلغ قطرها 20 ميكرومتر تحتوي على ثمانية أضعاف كمية السيتوبلازم التي تحتاج إلى تغذية وإزالة الفضلات، لكن مساحة غشائها التي يمكن من خلالها تبادل الفضلات والمواد الغذائية تزيد فقط بأربعة أضعاف. الخلية التي تكون كبيرة جدًا لا يمكنها دعم نفسها.

علاوة على ذلك، إذا كانت الخلية كبيرة جدًا، فلن تتمكن الجزيئات من الانتشار من مكان إلى آخر بسرعة كافية لدعم عمليات الأيض الخاصة بها. الوقت المطلوب للانتشار يتناسب مع مربع المسافة، لذا إذا تضاعف قطر الخلية، فإن وقت انتقال الجزيئات داخل الخلية سيزداد بأربعة أضعاف. على سبيل المثال، إذا استغرق انتشار جزيء من السطح إلى مركز خلية ذات نصف قطر 10 ميكرومتر 10 ثوان، وعند زيادة نصف قطر الخلية إلى 1 ملم، فسيستغرق الوصول إلى المركز 278 ساعة — وهو وقت طويل جدًا لدعم أنشطة حياة الخلية.

وجود أعضاء مكونة من العديد من الخلايا الصغيرة بدلاً من عدد أقل من الخلايا الكبيرة له ميزة أخرى. موت خلية واحدة أو بضع خلايا يؤثر بشكل أقل على بنية ووظيفة العضو بأكمله.

- كروى إلى بيضاوى—دائرى إلى بيضاوى، كما فى خلايا البيض وخلايا الدم البيضاء.
- قرصى—على شكل قرص، كما فى خلايا الدم الحمراء.
- مغزلى[6])FEW-zih-form—على شكل مغزل؛ ممدود، ذو وسط سميك ونهايات مدببة، كما فى خلايا العضلات الملساء.
- ليفى—طويل، نحيف، وخيطى، كما فى خلايا العضلات الهيكلية ومحاور الأعصاب)الألياف العصبية(للخلايا العصبية.

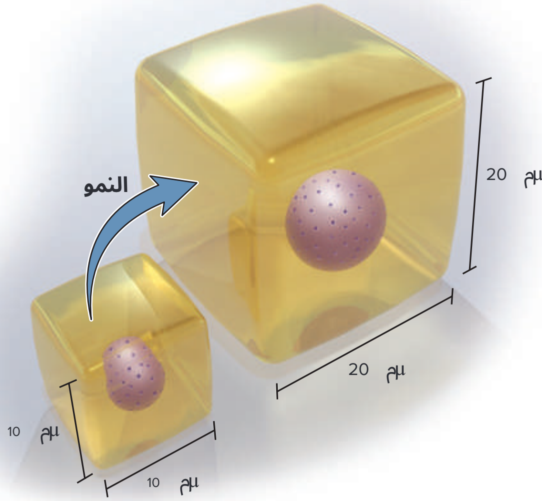
تشير بعض هذه الأشكال إلى الطريقة التى تبدو بها الخلية فى مقاطع الأنسجة النموذجية، وليس إلى الشكل الثلاثى الأبعاد الكامل للخلية. على سبيل المثال، الخلية التى تبدو حرشفية، مكعبة، أو عمودية فى مقطع نسيجى، عادة ما تبدو متعددة الأضلاع إذا نُظِر إليها من سطحها العلوى.

الوحدة الأكثر فائدة لقياس حجم الخلايا هى الميكرومتر)µm(، الذى كان يُسمى سابقًا الميكرون—واحد من المليون)10^{-6}(من المتر، وألف من الألف)10^{-3}(من المليمتر.)انظر الملحق B لوحدات القياس(. أصغر الأشياء التى يمكن لمعظم الناس رؤيتها بالعين المجردة حوالى 100 ميكرومتر، وهو حوالى ربع حجم النقطة فى نهاية جملة مطبوعة نموذجية. تقع بعض الخلايا البشرية ضمن هذا النطاق، مثل خلية البيض وبعض خلايا الدهون، لكن معظم الخلايا البشرية يبلغ عرضها حوالى 10 إلى 15 ميكرومتر. أطول الخلايا البشرية هى الخلايا العصبية)أحيانًا تزيد عن متر واحد(وخلايا العضلات)حتى 30 سم طولاً(، لكن كلاهما عادة ما يكون نحيفًا جدًا بحيث لا يمكن رؤيته بالعين المجردة.

[6] fusi= مغزل؛ form= شكل

الصورة الكبيرة غير الواضحة ليست مفيدة مثل الصورة الصغيرة والوا
ضحة. يكشف المجهر الإلكترونى النافذ (TEM) عن تفاصيل أكثر بكثير
من المجهر الضوئى (LM) (الشكل 3.3). الاختراع اللاحق، المجهر الإ
لكترونى الماسح (SEM)، ينتج صورًا ثلاثية الأبعاد مذهلة بتكبير ودقة
عالية (انظر الشكل 3.10أ)، لكنه يعرض فقط ميزات السطح.

تطبيق مذهل للمجهر الإلكترونى الماسح، يُرى كثيرًا فى هذا الك
تاب، هو تقنية صب التآكل الوعائى لتصوير الأوعية الدموية فى عضو
ما. يتم تصريف الأوعية وشطفها بالمحلول الملحى، ثم تُملأ بعناية با
لراتنج. بعد تصلب الراتنج،

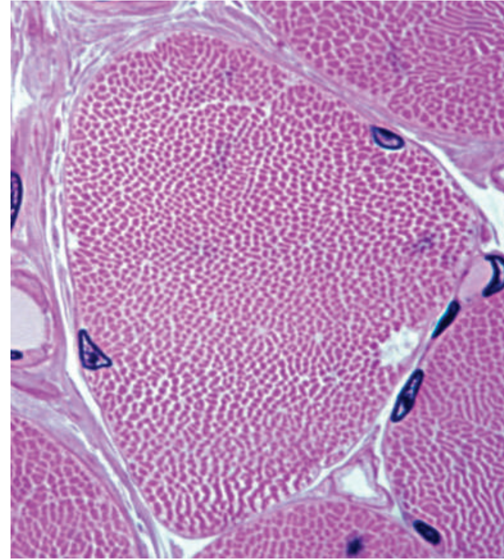


خلية كبيرة
القطر = 20 ميكرومتر
مساحة السطح = 20 ميكرومتر × 20 ميكرومتر × 6 = 2,400 ميكرومتر2
الحجم = 20 ميكرومتر × 20 ميكرومتر × 20 ميكرومتر = 8,000 ميكرومتر3

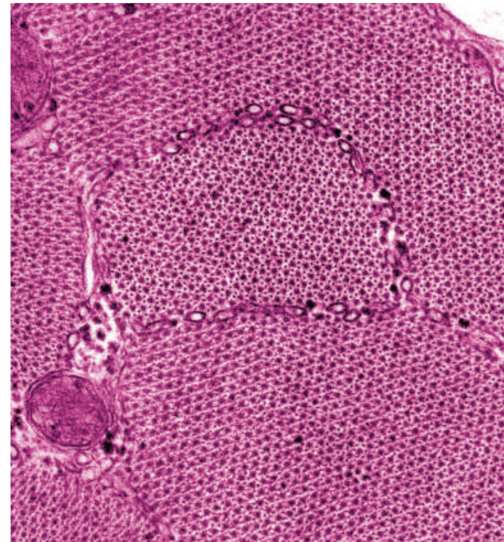
خلية صغيرة
القطر = 10 ميكرومتر
مساحة السطح = 10 ميكرومتر × 10 ميكرومتر × 6 = 600 ميكرومتر2
الحجم = 10 ميكرومتر × 10 ميكرومتر × 10 ميكرومتر = 1,000 ميكرومتر3

تأثير نمو الخلية:
ازداد القطر (D) بمقدار 2
ازداد سطح المنطقة بمقدار 4 ($=D^2$)
ازداد الحجم بمقدار 8 ($=D^3$)

الشكل 3.2 العلاقة بين مساحة سطح الخلية وحجمها. عندما يتضاعف
قطر الخلية، يزداد حجمها ثمانى أضعاف، لكن مساحة سطحها تزداد فقط أ
ربعة أضعاف. الخلية التى تكون كبيرة جدًا قد يكون لديها غشاء بلازمى قل
يل جدًا لخدمة الاحتياجات الأيضية للحجم المتزايد للسيتوبلازم.



(أ)



(ب)

الشكل 3.3 التكبير مقابل الدقة. مقاطع عرضية لخلية عضلية هيكلية تُرى
بواسطة (أ) الميكروسكوب الضوئى (LM) و (ب) ميكروسكوب الإلكترون ا
لناقل (TEM). يظهر TEM، بدقته الأفضل، تفاصيل أدق بكثير، حتى خ
يوط البروتين التى تُنتج انقباض العضلات.

3.1ح المكونات الأساسية للخلية

فى القرن التاسع عشر، كان يُعرف القليل عن الخلايا باستثناء
أنها محاطة بغشاء وتحتوى على نواة.
السائل بين النواة والغشاء السطحى، وهو السيتوبلازم[7]، كان يُعتقد أنه
ليس أكثر من خليط هلامى من المواد الكيميائية وجسيمات غير محد
دة بدقة. ميكروسكوب الإلكترون الناقل (TEM)، الذى اخترع فى منت
صف القرن العشرين، غير هذه النظرة جذريًا. باستخدام شعاع من الإل
كترونات بدلاً من الضوء، مكن TEM علماء الأحياء من رؤية البنية ال
فائقة للخلية، وهى درجة دقيقة من التفاصيل تمتد حتى المستوى الح
زيئى. أهم شيء فى الميكروسكوب الجيد ليس التكبير بل الدقة — ا
لقدرة على كشف التفاصيل، وتمييز الأجسام الصغيرة القريبة من بع
ضها البعض. يمكن تصوير أى صورة وتكبيرها بقدر ما نشاء، ولكن إذا
لم يكشف التكبير عن تفاصيل أكثر فائدة، فهذا يُسمى تكبيرًا فارغًا.

---

[7] سيتو = خلية؛ بلازم = مشكل، مصبوب

أ: إد ريشكى/صور جيتى؛ ب: ميديسكان/صورة ألامى ستوك

الجدول ١.٣ **أحجام الهياكل البيولوجية علاقتها بدقة العين، المجهر الضوئى، والمجهر الإلكترونى الناقل**

الحجم	الشيء
مرئى بالعين المجردة)دقة 70–100 ميكرومتر(	
100 ميكرومتر	بويصنة الإنسان، القطر
مرئى بالمجهر الصنوئى)دقة 200 نانومتر(	
10–15 ميكرومتر	معظم خلايا الإنسان، القطر
٧–١٠ ميكرومتر	الأهداب، الطول
٢.٠× ٤ ميكرومتر	الميتوكوندريا، العرض × الطول
١–٣ ميكرومتر	البكتيريا)الإشريكية القولونية(، الطول
١–٢ ميكرومتر	الزغابات الدقيقة، الطول
٥.٠ ميكرومتر= ٠٠٥ نانومتر	الجسيمات الحالة، القطر
مرئى باستخدام المجهر الإلكترونى الناقل)دقة 0.5 نانومتر(	
30–100 نانومتر	مسام النواة، القطر
20 × 50 نانومتر	المركزية، القطر × الطول
30 نانومتر	فيروس شلل الأطفال، القطر
15 نانومتر	الريبوسومات، القطر
5–10 نانومتر	البروتينات الكروية، القطر
٧.٥ نانومتر	الغشاء البلازمى، السمك
٢.٠ نانومتر	جزىء الحمض النووى، القطر
٠.٨ نانومتر	قنوات الغشاء البلازمى، القطر

3. لماذا لا يمكن للخلايا أن تنمو إلى حجم غير محدود؟
4. ما الفرق بين السيتوبلازم والسيتوسول؟
5. تعريف السائل داخل الخلية)ICF(و السائل خارج الخلية)ECF(.

سطح الخلية 3.2

نتائج التعلم المتوقعة

عندما تكمل هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف بنية غشاء البلازما؛

ب. شرح وظائف مكونات الدهون، البروتين، و الكربوهيدرات فى غشاء البلازما؛

ج. وصف نظام الرسول الثانى ومناقشة أهميته فى علم وظائف الأعضاء البشرى؛

د. شرح تركيب ووظائف الغليكوكاليكس الذى يغطى أسطح الخلايا؛ و

هـ. وصف بنية ووظائف الزغابات الدقيقة، الأهداب، السوط، والأقدام الكاذبة.

تحدث العديد من العمليات الفسيولوجية المهمة على سطح الخلية — مثل الاستجابات المناعية، ارتباط البويضة والحيوان المنوى، الإشارة بين الخلايا بواسطة الهرمونات، واكتشاف الطعم والرائحة، على سبيل المثال. لذلك، يشكل جزء كبير من هذا الفصل

يتم إذابة النسيج الفعلى بواسطة عامل تآكلى مثل هيدروكسيد البوتا سيوم. هذا يترك فقط قالب راتينجى للأوعية، والذى يتم تصويره بعد ذلك باستخدام الميكروسكوب الإلكترونى الماسح)SEM(. الصور النا تجة ليست فقط جميلة بشكل لافت، بل تعطى أيضًا رؤى عظيمة حو ل إمداد الدم إلى العضو من المستويات الكلية إلى المجهرية)انظر الأ شكال 19.10ح، 23.10أ، وصفحة الافتتاح من الفصل 17(.
الجدول 3.1 يعطى أحجام بعض الخلايا والأجسام تحت الخلوية بالنسبة إلى دقة العين المجردة، والميكروسكوب الصنوئى، وTEM. يمكنك أن ترى لماذا لم يُشتبه بوجود الخلايا حتى تم اختراع المجهر ال صنوئى، ولماذا كان القليل معروفًا عن مكوناتها الداخلية حتى أصبح الم جهر الإلكترونى النافذ)TEM(متاحًا.
الشكل 3.4 يُظهر بعض المكونات الرئيسية لخلية نموذجية. تُحيط بالخلية الغشاء البلازمى)غشاء الخلية( )المصنوع من البروتينات والدهون. يمكن أن تختلف تركيبة ووظائف هذا الغشاء بشكل كبير م ن منطقة إلى أخرى داخل الخلية، خاصةً بين السطوح القاعدية والجان بية والقمة)العلوية(للخلايا مثل تلك المصورة.

السيتوبلازم مزدحم بالألياف والأنابيب والممرات والحجرات. يح توى على الهيكل الخلوى، وهو إطار داعم من خيوط وأنابيب البروتين؛ ووفرة من العضيات، وهى هياكل متنوعة تقوم بمهام أيضية مختلفة للخلية؛ و المحتويات الداخلية، وهى مواد غريبة أو منتجات مخزنة داخ ل الخلية. قد تحتوى الخلية على 10 مليارات جزىء بروتين، بما فى ذ لك إنزيمات قوية لديها القدرة على تدمير الخلية إذا لم تُحتجز وتُعزل ع ن المكونات الخلوية الأخرى. يمكنك تخيل المشكلة الهائلة فى تتبع ك ل هذه المواد، وتوجيه الجزيئات إلى الوجهات الصحيحة، والحفاظ عل ى النظام فى مواجهة الاتجاه المستمر للطبيعة نحو الفوضى. تحافظ ا لخلايا على النظام جزئيًا من خلال تقسيم محتوياتها داخل العضيات.

الهيكل الخلوى والعضيات والمحتويات الداخلية مغمورة فى سا ئل شفاف يُسمى السيتوسول[8]أو السائل داخل الخلوى)ICF(. جميع سوائل الجسم التى لا توجد داخل الخلايا تُسمى مجتمعة السائل خار ج الخلوى)ECF(. السائل خارج الخلوى الموجود بين الخلايا يُسمى أى ضًا سائل النسيج)الوسيط(. بعض السوائل خارج الخلوية الأخرى تش مل بلازما الدم، اللمف، والسائل الدماغى الشوكى.
باختصار، نعتبر أن الخلايا تحتوى على المكونات الرئيسية التالية:

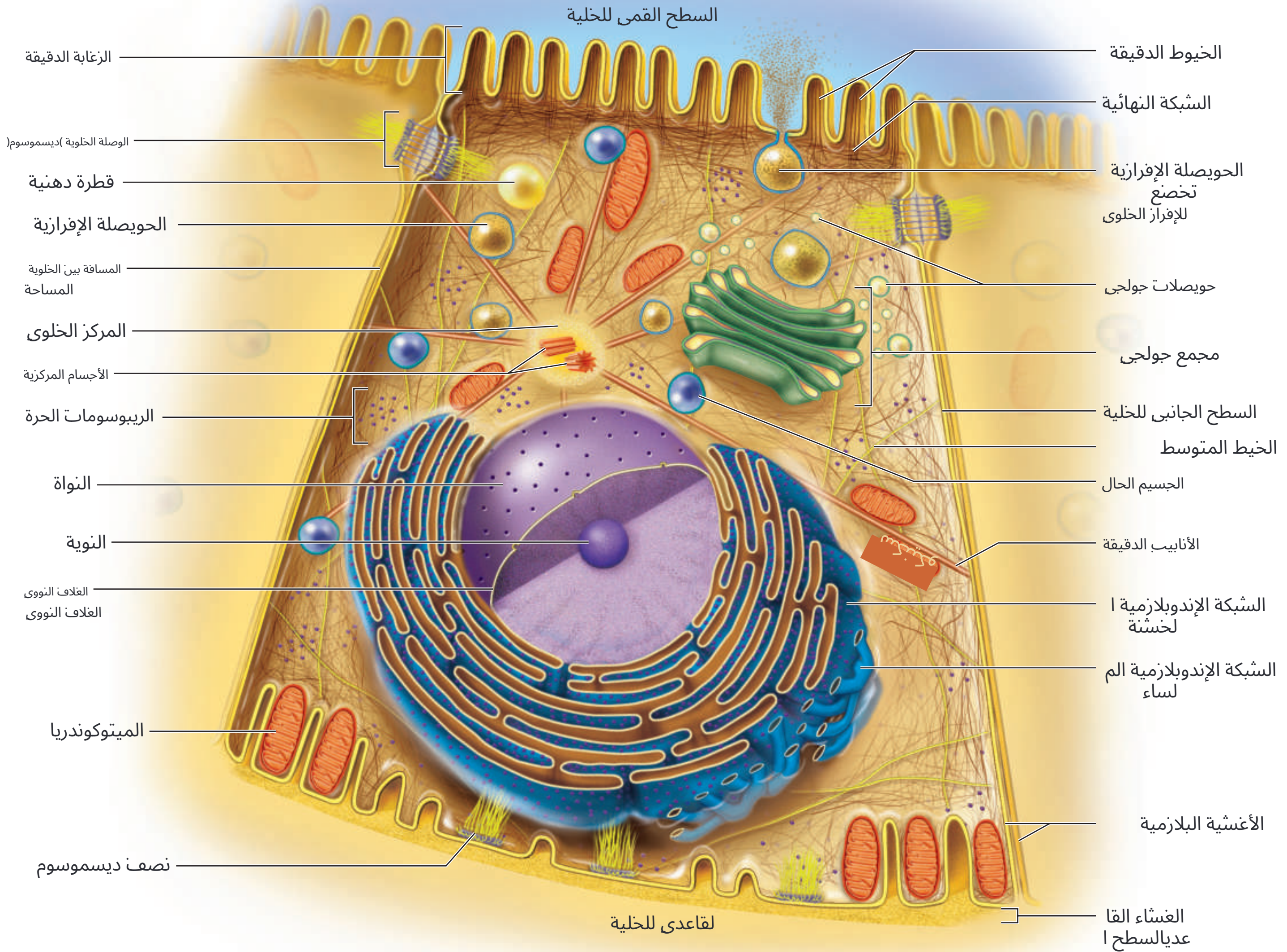
- الغشاء البلازمى
- السيتوبلازم
  - الهيكل الخلوى
  - العضيات)بما فى ذلك النواة(
  - المحتويات الداخلية
  - السيتوسول

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

1. ما هى المبادئ الأساسية لنظرية الخلية؟
2. ماذا يعنى القول إن الخلية حرشفية، نجمية، عمودية، أو مغزلية الشكل؟

[8] *سايتو* = خلية؛ *سول* = مادة مذابة



الشكل 3.4 هيكل خلية نموذجية.

7.5 نانومتر)الشكل 3.5أ(. الجانب الذى يواجه السيتوبلازم هو *الوجه داخل الخلوى* للغشاء، والجانب الذى يواجه الخارج هو *الوجه خارج ا لخلوى*. أغشية مماثلة تحيط بمعظم عضيات الخلية وتتحكم فى امت صاصها وإفرازها للمواد الكيميائية.

دهون الغشاء

يوضح الشكل 3.5ب مفهومنا الحالى للبنية الجزيئية لغشاء البلازما— طبقة دهنية من الدهون مع بروتينات مدمجة فيها. عادةً ما تشكل الد هون حوالى 98% من جزيئات الغشاء، وحوالى 75% من هذه الدهون هى الفسفوليبيدات. هذه الجزيئات ذات الطبيعة الأمفيباثية ترتب ن فسها فى طبقة ثنائية تشبه الساندويتش، مع رؤوسها الفسفاتية المح بة للماء مواجهة للماء على كل جانب

معنى بسطح الخلية. مثل المستكشفين لقارة جديدة، سندرس الداخ ل فقط بعد أن نحقق فى ساحلها. فى هذا القسم، نفحص بنية غشاء ا لبلازما، والميزات السطحية مثل الأهداب والزوائد الدقيقة، وطرق الن قل عبر الغشاء.

3.2أ غشاء البلازما

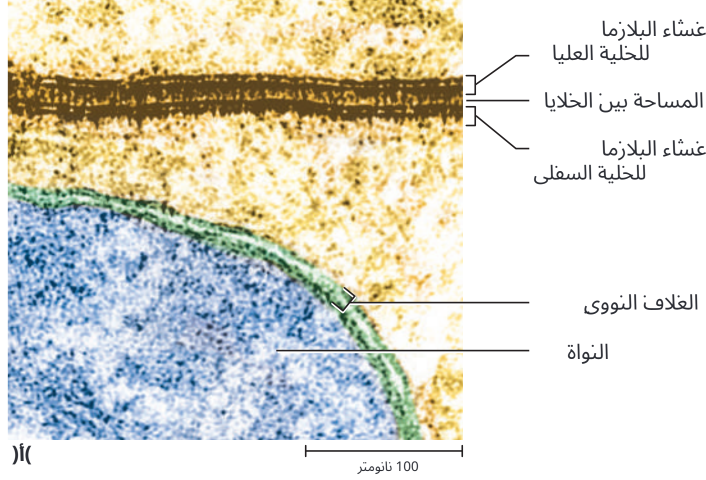
يحدد غشاء البلازما حدود الخلية، ويسيطر على تفاعلاتها مع الخلايا الأ خرى، ويدير مرور المواد إلى داخل الخلية وخارجها. يظهر تحت المجهر الإلكترونى كزوج من الخطوط المتوازية الداكنة بسماكة إجمالية حوالى

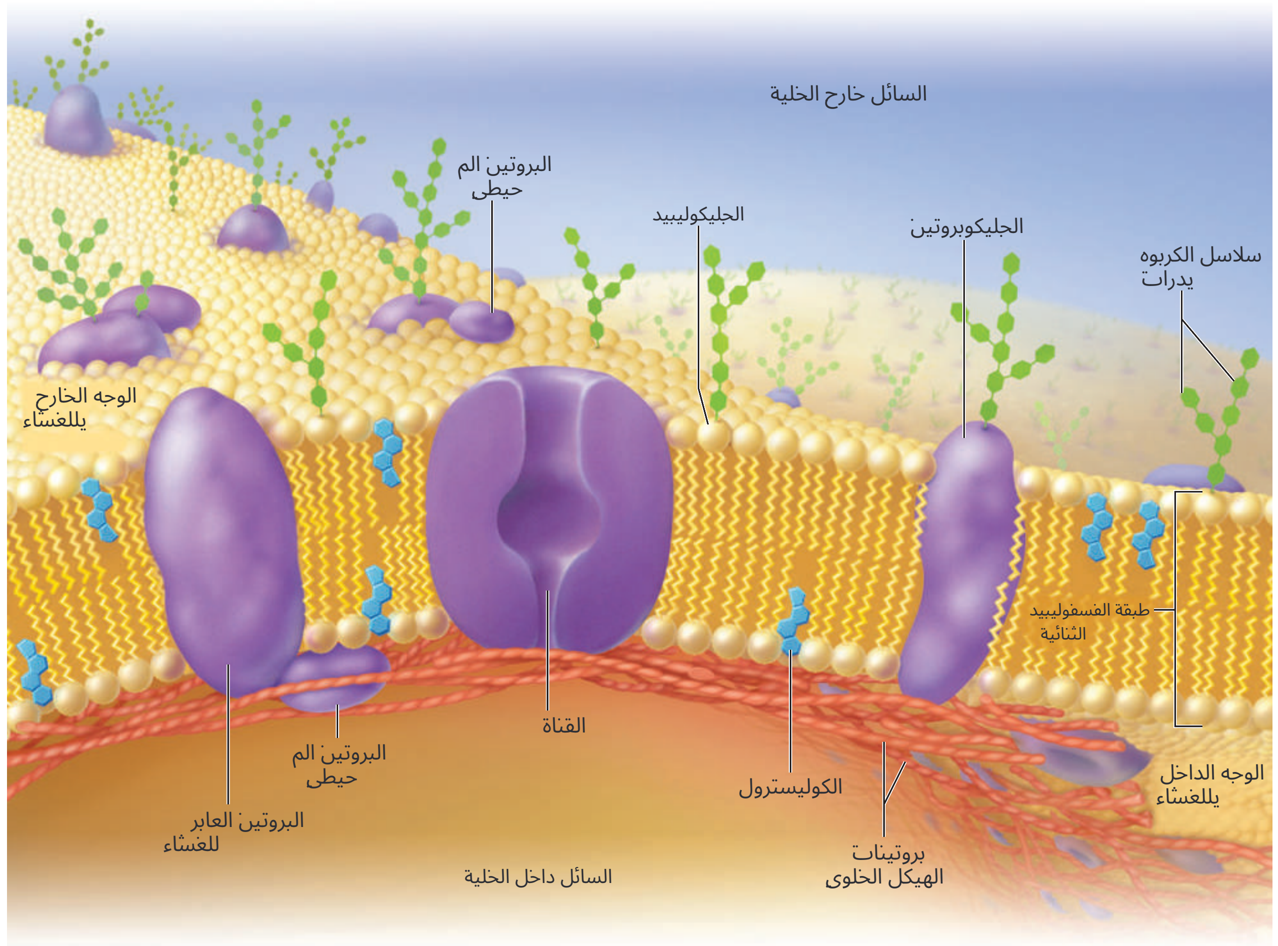
▶▶▶ طبق ما تعرفه
ماذا سيحدث إذا كان الغشاء البلازمي مكونًا بشكل أساسي من م
ادة محبة للماء مثل الكربوهيدرات؟ أي من المواضيع الرئيسية
في نهاية الفصل الأول يُجسّد هذا النقطة بشكل أفضل؟

جزيئات الكوليسترول، الموجودة بالقرب من أسطح الغشاء بين ا
لفسفوليبيدات، تشكل حوالي 20% من دهون الغشاء. من خلال الت
فاعل مع الفسفوليبيدات وتثبيتها في مكانها، يمكن للكوليسترول أن
يجعل الغشاء أكثر صلابة)أقل سيولة(في بعض المناطق. ومع ذلك،
يمكن لتركيزات أعلى من الكوليسترول أن تزيد من سيولة الغشاء عن
طريق منع الفسفوليبيدات من التكدس بإحكام معًا.

تشكل الدهون المتبقية بنسبة 5% من دهون الغشاء الجليكولي
بيدات—وهي فسفوليبيدات تحتوي على سلاسل كربوهيدرات قصيرة
على الوجه الخارجي للغشاء. تساهم هذه في *الغليكوكاليكس*، وهو ط
بقة كربوهيدراتية على سطح الخلية ذات وظائف متعددة، سيتم وص
فها لاحقًا.

الجانب وذيولها الكارهة للماء متجهة نحو المركز، متجنبةً الماء. تتحرك
الفسفوليبيدات أفقياً من مكان إلى آخر، تدور حول محاورها، وتثني ذ
يولها. تحافظ هذه الحركات على سيولة الغشاء.





الشكل 3.5 غشاء البلازما.)أ(أغشية البلازما لخليتين متجاورتين)تصوير مجهر إلكتروني ناقل(.)ب(التركيب الجزيئي لغشاء البلازما.

أ: د. دونالد فوسيت/مصدر العلوم

- الإنزيمات)الشكل 3.7ب(. تقوم الإنزيمات فى الغشاء البلاز
مى بإتمام المراحل النهائية لهضم النشا والبروتين فى الأمعاء ا
لدقيقة، وتساعد فى إنتاج الرسل الثانية، وتفكك الهرمونات
وجزيئات الإشارة الأخرى التى انتهى دورها، مما يمنعها من تح
فيز الخلية بشكل مفرط.

- بروتينات القنوات)الشكل 3.7ج(. القنوات هى ممرات تسم
ح للماء والمواد المذابة المحبة للماء بالمرور عبر الغشاء. الق
ناة هى نفق يمر عبر مركب من عدة بروتينات أو بين وحدا
ت فرعية لبروتين واحد. بعضها، المسمى قنوات التسرب،
تكون مفتوحة دائمًا وتسمح بمرور المواد باستمرار.

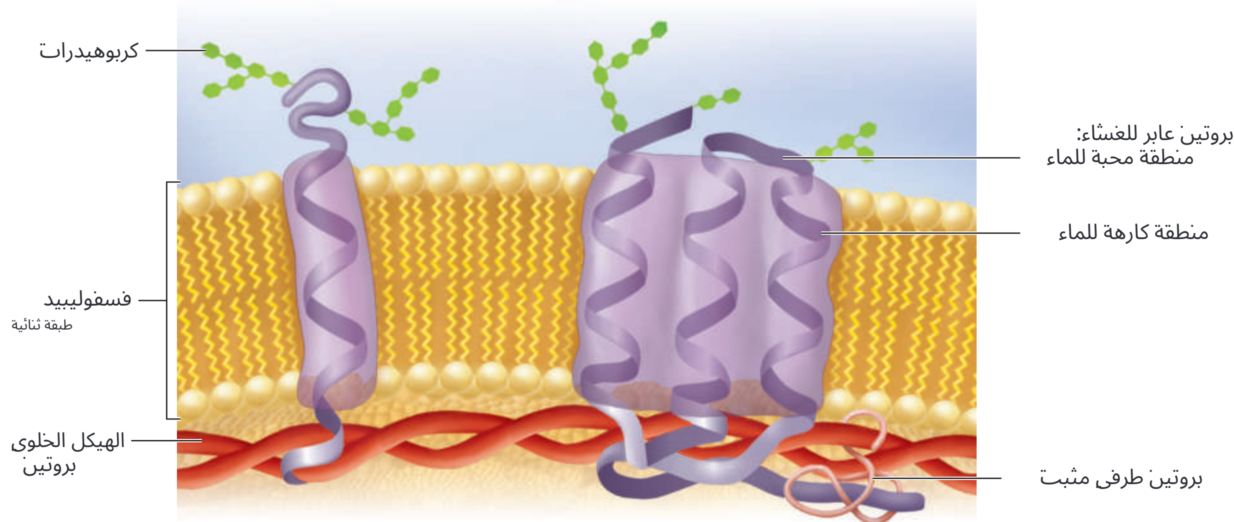
أخرى، تسمى البوابات)القنوات المغلقة(، تفتح وتغلق فى طرو
ف مختلفة وتسمح بمرور المواد فى أوقات معينة، ولكن ليس
فى أوقات أخرى)الشكل 3.7د(. تستجيب هذه البوابات لثلاثة أ
نواع من المحفزات: القنوات التى تفتح بواسطة الرسل الكيميائ
ية تستجيب للرسائل الكيميائية، والقنوات التى تفتح بواسط
ة الجهد تستجيب لتغيرات الجهد الكهربائى عبر الغشاء ال
بلازمى، والقنوات التى تفتح ميكانيكيًا تستجيب للإجهاد ال
فيزيائى على الخلية، مثل الشد والضغط. من خلال التحكم فى
حركة الإلكتروليتات عبر الغشاء البلازمى، تلعب القنوات
المغلقة دورًا مهمًا فى توقيت الإشارات العصبية وانقبا
ض العضلات)انظر التعمق 3.1(.
بعض المستقبلات تؤدى وظيفة مزدوجة كقنوات مغلقة. عندما
يقوم العصب بتحفيز العضلة، على سبيل المثال، يرتبط مرك
ب كيميائى من الألياف العصبية بمستقبل على ليف العضلة
ويفتح المستقبل للسماح لأيونات الصوديوم والبوتاسيوم بالم
رور وإثارة العضلة. تُعزى العيوب فى بروتينات القنوات إلى
مجموعة من الأمراض تُسمى الاعتلالات القنوية.

بروتينات الغشاء

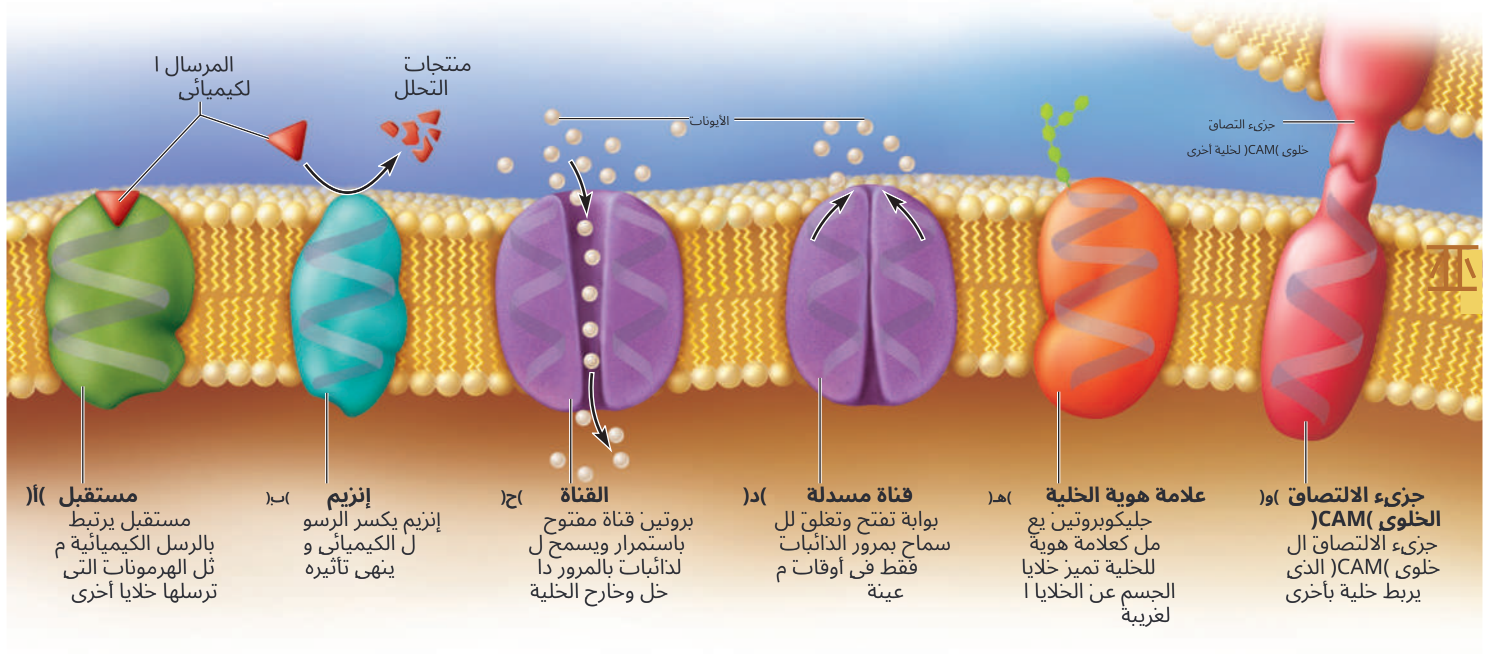
على الرغم من أن البروتينات تشكل حوالى ٢٪ فقط من جزيئات الغ
شاء البلازمى، إلا أنها أكبر من الدهون وتشكل فى المتوسط حوالى ٥٠
٪من وزن الغشاء. هناك فئتان رئيسيتان من بروتينات الغشاء: البرو
تينات العابرة للغشاء والبروتينات المحيطية. البروتينات العابرة للغ
شاء تمر بالكامل عبر طبقة الفسفوليبيد الثنائية، وتبرز منها على الجان
بين. لديها مناطق محبة للماء تتلامس مع الماء على كلا الجانبين، وم
ناطق كارهة للماء تمر ذهابًا وإيابًا عبر الدهون)الشكل ٦.٣(. معظم ال
بروتينات العابرة للغشاء هى جليكوبروتينات، مرتبطة بأوليغوسكاريدا
ت على الجانب الخارجى للخلايا. العديد من هذه البروتينات تتحرك
بحرية داخل طبقة الفسفوليبيد، مثل مكعبات الثلج التى تطفو فى وعا
ء من الماء. والبعض الآخر مثبت على *الهيكل الخلوى*—وهو نظام داخ
لى من الأنابيب والخيوط سيتم مناقشته لاحقًا. البروتينات المحيطية
لا تبرز داخل طبقة الفسفوليبيد ولكنها تلتصق إما بالوجه الداخلى أو
الخارجى للغشاء. تلك الموجودة على الوجه الداخلى عادة ما تكون مث
بتة ببروتين عابر للغشاء وكذلك بالهيكل الخلوى.

تشمل وظائف بروتينات الغشاء ما يلى:

- المستقبلات)الشكل ٧.٣أ(. العديد من الإشارات الكيميائية التى
تتواصل بها الخلايا)مثل الإبينفرين(لا يمكنها دخول الخلية الم
ستهدفة ولكنها ترتبط ببروتينات سطحية تسمى المستقبلات.
عادة ما تكون المستقبلات محددة لمرسال معين، تمامًا مثل
الإنزيم الذى يكون محددًا لمادة واحدة فقط.
تحتوى الأغشية البلازمية أيضًا على بروتينات مستقبلية ترتبط
بالمواد الكيميائية وتنقلها إلى داخل الخلية، كما سيتم مناقشته لاحقًا
فى هذا الفصل.
عندما يرتبط رسول بمستقبل سطحى، قد يُحدث تغييرات د
اخل الخلية تؤدى إلى إنتاج رسول ثانٍ فى السيتوبلازم. تتضمن ه
ذه العملية كلًا من البروتينات العابرة للغشاء)المستقبلات(والبرو
تينات المحيطية. سيتم مناقشة أنظمة الرسل الثانية بمزيد من ا
لتفصيل قريبًا.



الشكل 3.6 البروتينات العابرة للغشاء. يحتوى البروتين العابر للغشاء على مناطق كارهة للماء مدمجة فى طبقة الفسفوليبيد الثنائية
ومناطق محبة للماء بارزة فى السوائل داخل الخلية وخارجها. قد يعبر البروتين الغشاء مرة واحدة)يسار(أو عدة مرات
)يمين(. غالبًا ما تكون المناطق داخل الخلية مثبتة بالهيكل الخلوى بواسطة بروتينات محيطية.



الشكل 3.7 بعض وظائف بروتينات الغشاء.

- جزيئات الالتصاق الخلوى)الشكل 3.7f(. تلتصق الخلايا ب بعضها البعض وبالمواد خارج الخلية من خلال بروتينات الغ شاء المسماة جزيئات الالتصاق الخلوى)CAMs(. مع بعض الا ستثناءات القليلة)مثل خلايا الدم والخلايا السرطانية المنت شرة(، لا تعيش الخلايا وتنمو بشكل طبيعى إلا إذا كانت مرتبط ة ميكانيكيًا بالمواد خارج الخلية. تتطلب أحداث خاصة مثل ا رتباط الحيوان المنوى بالبويضة وارتباط خلية مناعية بخلية سرطانية أيضًا وجود جزيئات الالتصاق الخلوى.

الرسل الثانيون

الرسل الثانيون ذات أهمية كبيرة بحيث تتطلب نظرة أقرب. ستجد ه ذه المعلومات ضرورية لفهمك لاحقًا لعمل الهرمونات والناقلات الع صبية. دعونا ندرس كيف يحفز هرمون الأدرينالين الخلية. الأدرينالين، "المرسل الأول"، لا يمكنه المرور عبر غشاء البلازما، لذا يرتبط بمستق بل سطحى. المستقبل مرتبط من الجانب داخل الخلية ببروتين G الم حيطى)الشكل 3.8(. تسمى بروتينات G بهذا الاسم نسبةً إلى المادة الكيميائية الشبيهة بـ ATP، غوانوزين ثلاثى الفوسفات)GTP(، التى تحصل منها على طاقتها. عند تنشيطها بواسطة المستقبل، ينقل برو تين G الإشارة إلى بروتين غشائى آخر، الأدينيلات سيكلاز (ah-DEN-ih-late SY-clase(. يقوم الأدينيلات سيكلاز بإزالة مجمو عتين فوسفاتيتين من ATP ويحولها إلى AMP الحلقى

(cAMP)، الرسول الثانى)انظر الشكل 2.29b(. ثم يقوم AMP الحلقى بتنش ط إنزيمات سيتوبلازمية تسمى الكينازات)KY-nace-es(، التى تض ف مجموعات فوسفات إلى إنزيمات خلوية أخرى. هذا ينشط بعض الإنزيما ت ويعطل أخرى، ولكن فى كلتا الحالتين، يثير مجموعة واسعة من التغيرات الفسيولوجية داخل الخلية. يعمل ما يصل إلى 60% من الأدوية عن طريق تع ديل نشاط بروتينات G.

- الناقلات)انظر الشكل 3.17(. الناقلات هى بروتينات عابرة ل لغشاء ترتبط بالجلوكوز، والإلكتروليتات، وغيرها من المذابّات و تنقلها إلى الجانب الآخر من الغشاء. بعض الناقلات، التى تُسمى المضخات، تستهلك ATP فى هذه العملية.
- علامات هوية الخلية)الشكل 3.7e(. تساهم الجليكوبروتينات فى الغليكوكاليكس، الذى يعمل كـ "علامة تعريف" تمكّن ال جهاز المناعى من التمييز بين الخلايا التى تنتمى إلى الجسم وتل ك التى هى غزاة أجانب.

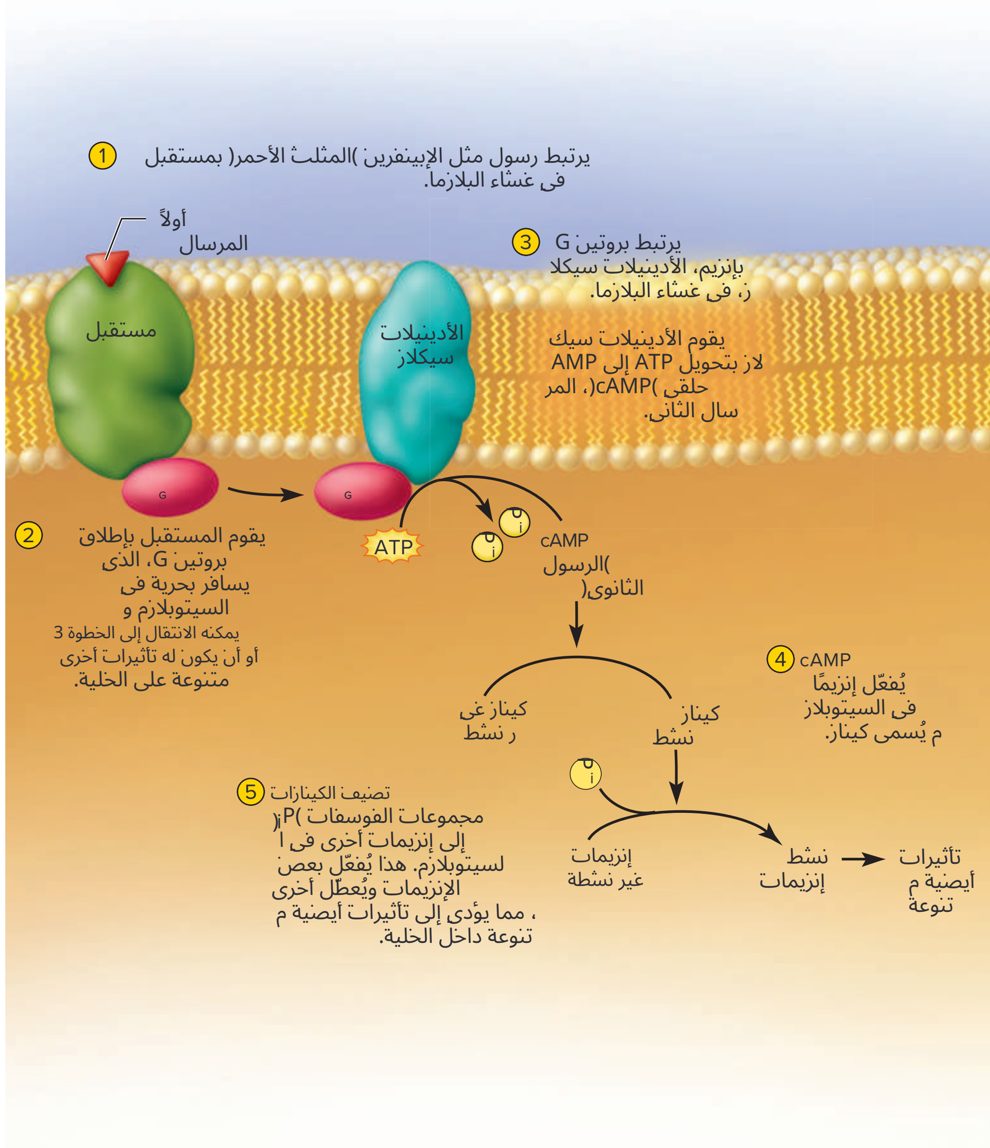


نظرة أعمق 3.1

التطبيق السريرى

حاصرات قنوات الكالسيوم

حاصرات قنوات الكالسيوم هى فئة من الأدوية التى تظهر الأهمية العلاجية لفهم قنوات الغشاء ذات البوابات. تحتوى جدران الشرايين على عضلات ملساء تنقبض أو تسترخى لتغيير قطرها. تؤدى هذه التغيرات إلى تعديل تدفق الدم وتؤثر بقوة ع لى ضغط الدم. يرتفع ضغط الدم عندما تنقبض الشرايين وينخفض عندما تسترخ ى وتتوسع. يمكن أن يسبب التضيق الواسع والمفرط للأوعية ارتفاع ضغط الدم، و يمكن أن يسبب تضيق الأوعية التاجية فى القلب ألمًا)الذبحة الصدرية(بسبب تد فق دم غير كافٍ إلى عضلة القلب. لكى تنقبض خلية العضلة الملساء، يجب أن ت فتح قنوات الكالسيوم فى غشاء البلازما الخاص بها وتسمح بدخول الكالسيوم من السائل خارج الخلية. تمنع حاصرات قنوات الكالسيوم فتح هذه القنوات وبالتالى تسترخى الشرايين، وتزيد تدفق الدم، وتخفف الذبحة الصدرية، وتخفض ضغط الد م.



الشكل 3.8 نظام الرسول الثانى.

هل الأدينيلات سيكلاز بروتين عابر للغشاء أ م بروتين محيطى؟ ماذا عن بروتين G؟

الجدول 3.2	وظائف الغليكوكاليكس
الحماية	يمتص الصدمات على غشاء البلازما ويُحميه م ن الإصابات الفيزيائية والكيميائية
المناعة ضد العدوى	يُمكّن الجهاز المناعى من التعرف على الكائنات الغريبة ومهاجمتها بشكل انتقائى
الدفاع ضد السرطان	تغييرات فى الغليكوكاليكس للخلايا السرطانية تمكّن الجهاز المناعى من التعرف عليها وتدميره ا
توافق الزرع	يشكل الأساس لتوافق نقل الدم، وزرع الأنسجة، وزرع الأعضاء
التصاق الخلايا	يربط الخلايا معًا حتى لا تتفكك الأنسجة
الإخصاب	يمكن الحيوانات المنوية من التعرف على البويضات والارتباط بها
التطور الجن ينى	يوجه الخلايا الجنينية إلى وجهاتها فى الجسم

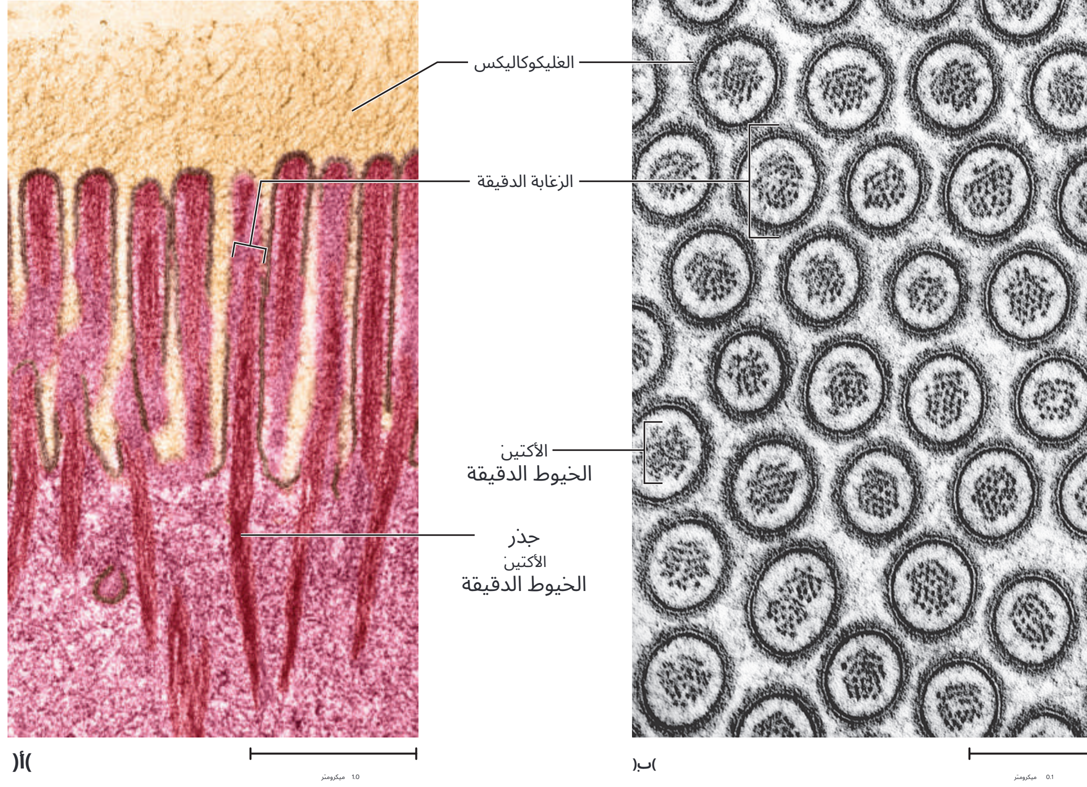
3.2ب الغليكوكاليكس

خارج الغشاء البلازمى، تحتوى جميع خلايا الحيوانات على طبقة خارج ية ضبابية تُسمى الغليكوكاليكس[9] (GLY-co-CAY-licks))الشكل 3. 9(، وتتكون من مكونات الكربوهيدرات فى الجليكوليبيدات والجليكو بروتينات الغشائية. وهى فريدة كيميائيًا لكل شخص باستثناء التوائم ا لمتطابقة، وتعمل كعلامة تعريف تمكن الجسم من التمييز بين خلاياه السليمة والأنسجة المزروعة والكائنات الغازية والخلايا المريضة. يتم تحديد فصائل دم الإنسان وتوافق عمليات النقل بواسطة الجليكوليبيد ات. تلخص وظائف الغليكوكاليكس فى الجدول 3.2.

3.2ج امتدادات سطح الخلية

تمتلك العديد من الخلايا امتدادات سطحية تُسمى *الأهداب الدقيقة، الأ هداب، الأسواط، والأقدام الكاذبة*. تساعد هذه فى الامتصاص، الحركة، و العمليات الحسية.

[9] *جليكو* = سكر؛ *كاليكس* = كوب، وعاء



الشكل ٩.٣ الأهداب الدقيقة والطبقة السكرية)TEM(. تُثبت الأهداب الدقيقة بواسطة خيوط دقيقة من الأكتين، التى تشغل نواة كل هدب دقيق وتمتد إلى السيتوبلازم.)أ(مقطع طولى، عمودى على سطح الخلية.)ب(مقطع عرضى.

أ: دون و. فوسيت/Science Source; ب: Biophoto Associates/Science Source

على عكس الأهداب الدقيقة الطويلة والكثيفة فى الخلايا الامتصاصية، فإن الأهداب الدقيقة فى العديد من الخلايا الأخرى لا تزيد عن نتوءات صغيرة على السطح. فى خلايا براعم التذوق والأذن الداخلية، تكون متطورة جيدًا لكنها تخدم وظائف حسية بدلاً من الامتصاصية.

الأهداب والأهداب الخيطية

الأهداب (SIL-ee-uh; المفرد، *cilium*)[11] (الشكل ١٠.٣) هى عمليات شبيهة بالشعر يبلغ طولها حوالى ٧ إلى ١٠ ميكرومتر. تحتوى تقريبًا كل خلية بشرية على هدب أولى غير متحرك *primary cilium* بطول عدة ميكرومترات. وظيفته فى بعض الحالات لا تزال غامضة، لكن العديد منها حسية، وتعمل كـ "هوائى" للخلية لمراقبة الظروف المحيطة. فى الأذن الداخلية، تلعب دورًا فى الإحساس بالتوازن؛ فى شبكية العين، تكون معقدة للغاية وتشكل الجزء الممتص للضوء من خلايا المستقبل؛ وفى الكلى، يُعتقد أنها تراقب تدفق السائل أثناء معالجته إلى البول. فى بعض الحالات، تفتح بوابات الكالسيوم فى غشاء البلازما، مما ينشط إشارة إعلامية داخل الخلية. تحتوى الخلايا الحسية فى الأنف على عدة أهداب أولية غير متحركة ترتبط بجزيئات الرائحة. تؤدى العيوب فى تطور أو بنية أو وظيفة الأهداب—وخاصة هذه الأهداب الأولية غير المتحركة—أحيانًا إلى عيوب خلقية وأمراض وراثية تسمى

الأهداب الدقيقة

الأهداب الدقيقة[10] (MY-cro-VIL-eye; المفرد، *microvillus*) هى امتدادات لغشاء البلازما تخدم بشكل أساسى لزيادة مساحة سطح الخلية (الشكلان ٩.٣ و١٠.٣أ، ج). وهى متطورة بشكل أفضل فى الخلايا المتخصصة فى الامتصاص، مثل خلايا الطهارة فى الأمعاء والكلى. تعطى هذه الخلايا مساحة سطح امتصاصية تزيد من ١٥ إلى ٤٠ مرة عما لو كانت أسطحها القمية مسطحة.

لا يمكن تمييز الأهداب الدقيقة الفردية جيدًا بالمجهر الضوئى لأنها لا يتجاوز طولها ١ إلى ٢ ميكرومتر. فى بعض الخلايا، تكون كثيفة جدًا وتظهر كحافة تسمى الحد الحدودى على السطح القمى للخلية. باستخدام المجهر الإلكترونى الماسح، تشبه سجادة ذات وبر كثيف. باستخدام المجهر الإلكترونى الناقل، تبدو الأهداب الدقيقة عادة كامتدادات على شكل أصابع لسطح الخلية. تظهر بنية داخلية قليلة، لكن بعضها يحتوى على حزمة من الخيوط الصلبة لبروتين يسمى *الأكتين*.

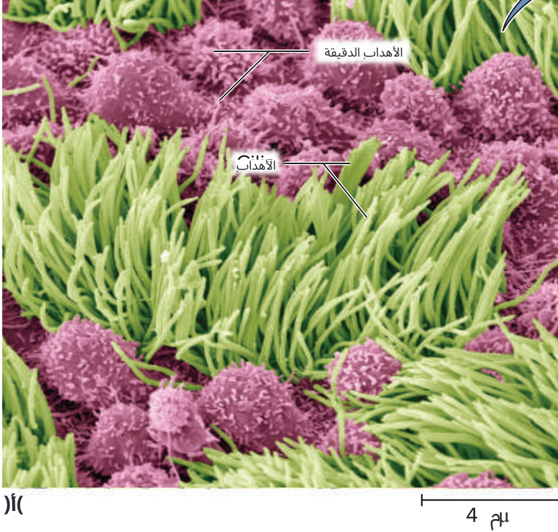
تلتصق خيوط الأكتين بالداخل من غشاء البلازما عند طرف الأهداب الدقيقة، وعند قاعدتها تمتد قليلاً داخل الخلية وترسخ الأهداب الدقيقة إلى شبكة بروتينية تسمى *الشبكة النهائية*. عند سحبها بواسطة بروتين آخر فى السيتوبلازم، يمكن للأكتين تقصير الأهداب الدقيقة لضخ محتوياتها الممتصة إلى داخل الخلية.

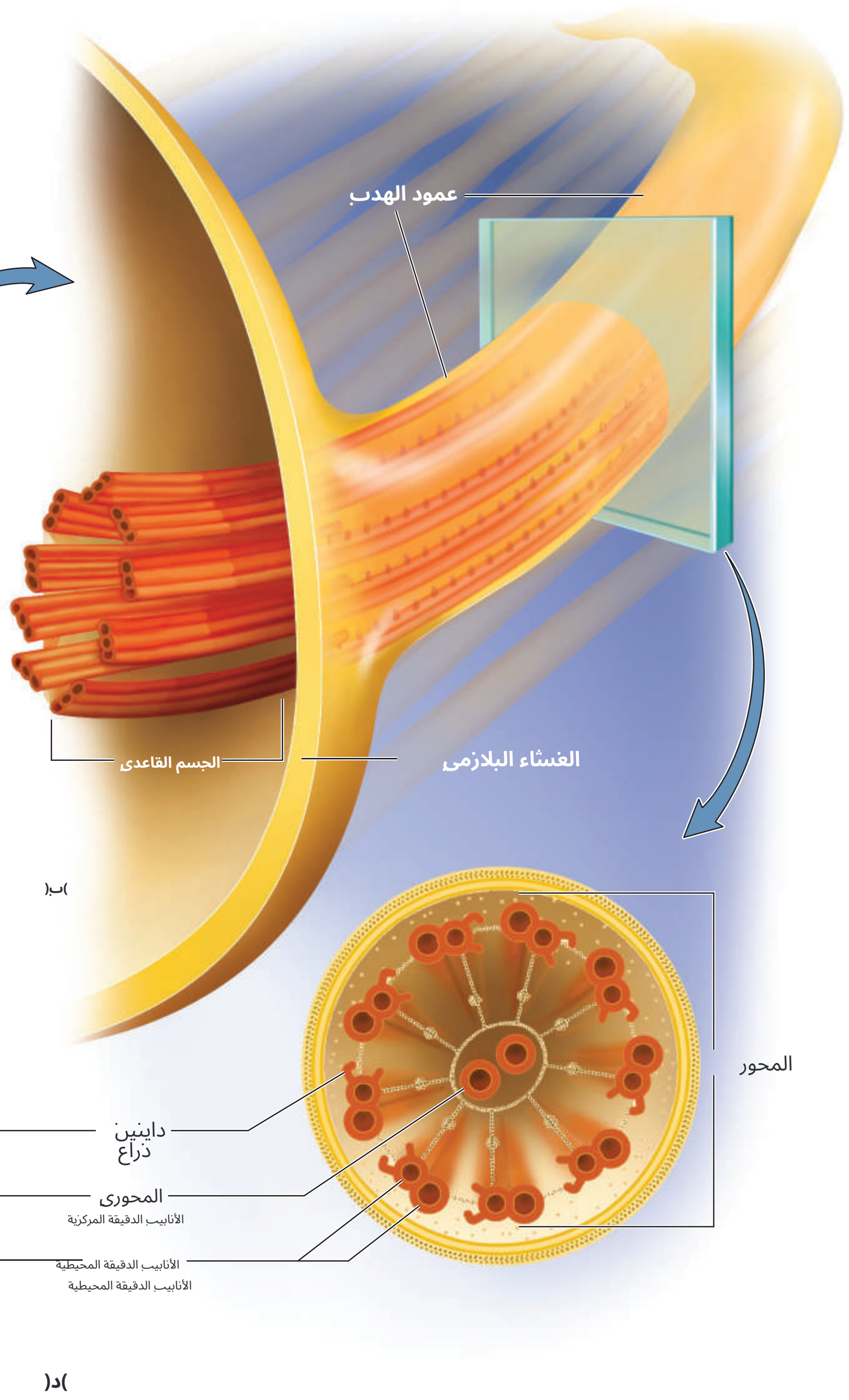
[11] *الهدب* = رمش العين

[10] *ميكرو* = صغير؛ *الزغابات* = شعيرات

الشكل 3.10 الأهداب.)أ(طهارة قناة الرحم)قناة فالوب( )المجهر الإلكترونى الماسح(. تظهر الخلايا القصيرة التى تفرز المخاط بين الخلايا المهدبة نتوءات دقيقة على أسطحها.)ب(الهيكل ثلاثى الأبعاد لهبَاب.)ح(مقطع عرضى لعدد من الأهداب والنتوءات الدقيقة)المجهر الإلكترونى النافذ(.)د(الهيكل المقطعى العرضى لهبَاب. لاحظ الأحجام النسبية للأهداب والنتوءات الدقيقة فى الجزأين)أ(و)ح(.

; :أ Science Photo Library/Alamy Stock Photo :ح Don Fawcett/Science Source





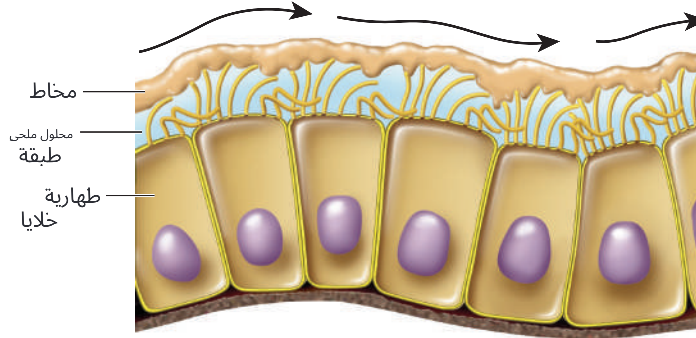


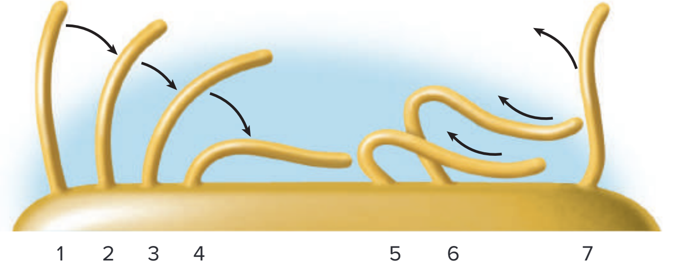
نفس الاتجاه)الشكل ١١.٣(، تدفع مثل هذه المواد مثل المخاط، أو خلية البيضة، أو السائل الدماغى الشوكى.

ينحنى كل شعيرة إلى الأمام بشكل صلب وينتج *ضربة قوة* تدفع المخاط أو المادة الأخرى. بعد وقت قصير من بدء الشعيرة لضربة القوة، تبدأ الشعيرة التى أمامها مباشرة، والتى تليها، وهكذا—مما ينتج حركة متموجة جماعية. بعد أن تكمل الشعيرة ضربة القوة، تسحب نفسها بشكل رخوى إلى الخلف فى *ضربة استرداد* تعيدها إلى الوضع العمودى، جاهزة للانثناء مرة أخرى.

الأمراض المتعلقة بالأهداب.)انظر سؤال اختبار الفهم رقم 5 فى نهاية هذا الفصل.(

الأهداب المتحركة أقل انتشارًا، لكنها أكثر عددًا على الخلايا التى تمتلكها. توجد فى الجهاز التنفسى، الرحم-أنابيب فالوب، التجاويف الداخلية *)البطينات(* فى الدماغ، و قنوات قصيرة *)القنوات الناقلة(* المرتبطة بالخصيتين. هناك قد يكون هناك من ٥٠ إلى ٢٠٠ شعيرة على سطح خلية واحدة. إنها تضرب فى موجات تجتاح سطح الطهارة، دائمًا فى





)أ(

)ب(

الشكل 3.11 حركة الأهداب.)أ(أهداب طهارة تحرك المخاط على طبقة سطحية من المحلول الملحى.)ب(ضربات القوة والاسترداد لهدَب فردى. يصبح الهدب مرتخيًا فى ضربة الاسترداد ليعود إلى وضعه الأصلى دون لمس المخاط أعلاه.

تتوقف عند سطح الخلية، لكن الأنابيب الدقيقة المحيطية تستمر لمسافة قصيرة داخل الخلية كجزء من الجسم القاعدى الذى يثبت الشعيرة. فى ك ل زوج من الأنابيب الدقيقة المحيطية، يحتوى أحد الأنابيب على ذراعين صغيرتين داينين[13])DINE-een(. يستخدم الداينين، وهو بروت ين محرك، الطاقة من ATP ليزحف على الزوج المجاور من الأنابيب الدقيقة. على جانب واحد من الهدب، تمتد أذرع الداينين النشطة وتلتصق بمى كروتيوبول من زوج مجاور، ثم تنثنى وتسحب ذلك الميكروتيوبول نحو ها. يؤدى عملها الجماعى إلى انحناء الهدب فى ذلك الاتجاه. فى ذلك ا لوقت، تُثبط أذرع الداينين على الجانب الآخر من الهدب حتى لا تقاوم الانحناء. ثم تُثبط أذرع الداينين الأولى وتُنشط الأخرى، مما يسبب انح ناءً عكسيًا فى ذلك الاتجاه. تتناوب التنشيط والتثبيط بين الجانبين بشكل متكرر، مما يسبب الانحناء ذهابًا وإيابًا لضربات القوة والاستردا د للهدب.

تعمل الأنابيب الدقيقة فى الهدب أيضًا كمسارات أحادية السكة تحمل عبرها البروتينات الحركية المواد صعودًا وهبوطًا على الهدب لاستخدامها فى نموه وصيانته. الأهداب الأولية، التى لا تستطيع الحركة، تفتقر إلى الأنبوبين الدقيقين المركزيين وأذرع الديينين، لكنها لا تزال تحتوى على الأزواج التسعة المحيطية؛ ويقال إنها تمتلك هيكل *9 + 0* .

الوحيد الأسواط[14])فلا-جيل-وم(الوظيفى فى البشر هو الذيل ال شبيه بالسوط للحيوان المنوى. إنه أطول بكثير من الهدب ويحتوى عل ى محور محاط بغلاف من الألياف الخشنة التى تقوّى الذيل وتمنحه ق وة دفع أكبر. يضرب السوط بنفس آلية الديينين \المستخدمة فى الأه داب، لكنه لا يتحرك بضربات القوة والاسترداد. بدلاً من ذلك، يضرب بطريقة تموجية أكثر، تشبه حركة الأفعى أو البرغى. يتم وصفه بمزيد م ن التفصيل كجزء من تركيب الحيوان المنوى فى الفصل 27.

الأقدام الكاذبة

الأقدام الكاذبة[15])سو-دو-بودز(هى امتدادات مملوءة بالسيتوبلازم تختل ف فى الشكل من عمليات دقيقة وخيطية إلى أخرى عريضة تشبه الأصا بع)الشكل 3.12(. على عكس الأنواع الثلاثة الأخرى من الامتدادات ال سطحية، فهى تتغير باستمرار. بعضها يتكون من جديد بينما الخلية

[13]دين = قوة، طاقة؛ *إن* = بروتين
[14]*السوط* = سوط
[15]*كاذب* = زائف؛ *قدم* = قدم

▶▶▶ طبق ما تعرفه

كيف سيتأثر حركة المخاط فى الجهاز التنفسى إذا كانت الشعيرات صلبة بنفس القدر فى كل من ضربات القوة وضربات الاسترداد؟

لا يمكن للشعيرات أن تضرب بحرية إذا كانت مغمورة فى مخاط لزج)انظر نطرة أعمق ٢.٣(. بدلاً من ذلك، تضرب داخل طبقة مالحة ع لى سطح الخلية. *مضخات الكلوريد* فى غشاء البلازما القمى تنتج هذه الطبقة عن طريق ضخ Cl^- إلى السائل خارج الخلية. تتبع أيونات الصو ديوم عن طريق الجذب الكهروستاتيكى ويتبعها الماء عن طريق التنا ضح. يطفو المخاط أساسًا على سطح هذه الطبقة ويدفعه أطراف الس عيرات.

الأساس الهيكلى لحركة الشعيرات هو نواة تسمى الأكسونيم[12])ACK-so-neem(، والتى تتكون من مجموعة من أسطوانات ا لبروتين الرقيقة تسمى *الأنابيب الدقيقة*. هناك أنبوبان دقيقان مركز يان محاطان بحلقة من تسعة أزواج من الأنابيب الدقيقة—ترتيب ى سمى *٩ + ٢ الهيكل*. فى المقطع العرضى، يشبه عجلة فيريس)الش كل ١.٣٠د(. الأنابيب الدقيقة المركزية

[12]*محور* = محور؛ *خيط* = خيط



نظرة أعمق 3.2

التطبيق السريرى

التليف الكيسى

تتجلى أهمية مضخات الكلوريد بشكل خاص فى التليف الكيسى)CF(، وهو مرض وراثى يصيب بشكل رئيسى الأطفال البيض من أصول أوروبية. عادةً ما يكون التل يف الكيسى ناتجًا عن خلل حيث تصنع الخلايا مضخات الكلوريد لكنها تفشل فى تركيبها فى غشاء البلازما. ونتيجة لذلك، يكون هناك طبقة ملحية غير كافية على سطح الخلية ويصبح المخاط جافًا ولزجًا بشكل مفرط. هذا المخاط السميك يسد قنوات البنكرياس ويمنعها من إفراز الإنزيمات الهضمية إلى الأمعاء الدقيقة، مما يؤدى إلى تعطل الهضم والتغذية. فى الجهاز التنفسى، يسد المخاط الأهداب ويم نعها من الحركة بحرية. يصبح الجهاز التنفسى مزدحمًا بالمخاط السميك، مما يؤد ى غالبًا إلى عدوى مزمنة وانهيار رئوى. متوسط العمر المتوقع للأشخاص المصاب ن بالتليف الكيسى حوالى 44 سنة.

نقل الغشاء 3.3

النتائج المتوقعة من التعلم

عندما تكمل هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. شرح ما المقصود بـ الغشاء الانتقائي النفاذ ؛

ب. وصف الآليات المختلفة لنقل المواد عبر أغشية الخلايا؛ و

ح. تعريف الأسمولارية و التوترية وشرح أهميتهما.

واحدة من أهم وظائف أغشية الخلايا هي التحكم في مرور المواد إلى د اخل وخارج العضيات والخلية ككل. الغشاء البلازمي هو حاجز وبوابة بين السيتوبلازم والسائل خارج الخلية)ECF(. إنه انتقائي النفاذ—يسم ح بمرور بعض الأشياء، مثل المغذيات والنفايات، لكنه عادة يمنع أش ياء أخرى، مثل البروتينات والفوسفات، من الدخول أو الخروج من الخ لية.

يمكن تصنيف طرق نقل المواد عبر الغشاء بطريقتين متداخلتين : كآليات سلبية أو نشطة وكآليات تعتمد على الناقل أو لا تعتمد عليه. *الآليات السلبية* لا تتطلب استهلاك طاقة)ATP(من الخلية. في معظ م الحالات، توفر الحركة الجزيئية العشوائية للجسيمات نفسها الطاقة ا للازمة. تشمل الآليات السلبية الترشيح، الانتشار، والتناضح. *الآليات ا لنشطة*، مع ذلك، تستهلك ATP. وتشمل النقل النشط والنقل الحوي صلي. الآليات المعتمدة على الناقل تستخدم بروتينًا غشائيًا لنقل الم واد من جانب الغشاء إلى الجانب الآخر، لكن بعض عمليات النقل، م ثل التناضح، لا تتضمن ناقلات.

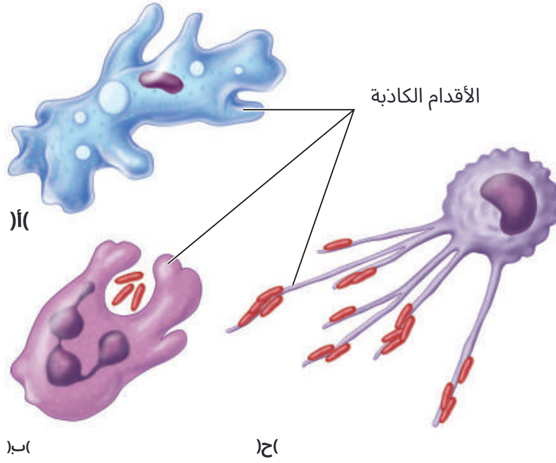
3.3أ الترشيح

الترشيح هو عملية يتم فيها دفع السائل بواسطة ضغط فيزيائي عبر غ شاء نصف نافذ. فلتر القهوة هو مثال يومي على ذلك. وزن الماء يدفع الماء والمواد المذابة عبر الفلتر، بينما يحتجز الفلتر الجسيمات الأكبر) مثل حبيبات القهوة(. في علم وظائف الأعضاء، الحالة الأهم للترشيح تُرى في الشعيرات الدموية، حيث يضغط الدم السائل عبر الفجوات في جدار الشعيرة الدموية)الشكل 3.13(.

هذه هي الطريقة التي تنتقل بها المياه والأملاح والمغذيات وغيرها من المذابّات من مجرى الدم إلى سائل النسيج، وكيف تقوم الكلى بترش ح الفضلات من الدم. تحتجز الشعيرات الدموية الجسيمات الأكبر مثل خلايا الدم والبروتينات. في معظم الحالات، يمر الماء والمذابّات عبر فجوات ضيقة بين خلايا الشعيرات الدموية. ومع ذلك، في بعض الش عيرات الدموية، تحتوي الخلايا على *مسام ترشيح كبيرة* تشبه الثقوب في قطعة من جبن السويس، مما يسمح بترشيح أسرع للمذابّات الك بيرة مثل هرمونات البروتين.

3.3ب الانتشار البسيط

الانتشار البسيط هو الحركة الصافية للجسيمات من مكان ذو تركيز عا لٍ إلى مكان ذي تركيز أقل نتيجة لحركتها المستمرة والعفوية. بعبارة أ خرى، تنتشر المواد *باتجاه تدرجات تركيزها*)انظر "التدرجات والتدفق "، القسم 1.6هـ(. تتحرك الجزيئات بسرعات مذهلة.



الشكل 3.12 الأقدام الكاذبة.)أ(الأميبا، كائن مائي عذب يتحرك ويلتقط الطعام بواسطة الأقدام الكاذبة.)ب(الخلية المتعادلة)خلايا الدم البيضاء(التي تستخدم الأقدام الكاذبة للحركة واصطياد البكتيريا بطريقة مماثلة.)ح(البلعمة تمتد أقدام كاذبة خيطية لاصطياد و"سحب" البكتيريا)العصي الحمراء(.

تنتفخ الفقاعات السطحية إلى الخارج ويتدفق السيتوبلازم إلى زائفة قدم)pseu dopod(طويلة، بينما يتم سحب البعض الآخر إلى داخل الخل ية عن طريق تفكيك خيوط البروتين التي كانت تدعمها مثل السقالة. الكائن الحي المائي العذب *الأميبا* يقدم مثالًا مألوفًا على الزوائد ا لكاذبة)pseudopods(، التي يستخدمها للحركة واصطياد الطعام. خ لايا الدم البيضاء المسماة *العدلات)neutrophils(* تزحف مثل الأم يبا باستخدام زوائد كاذبة تشبه الأصابع، وعندما تصادف بكتيريا أو ح سيمًا غريبًا آخر، تمد زوائدها الكاذبة لتحيط به وتبتلعه. *البلعميات)M acrophages)* — خلايا نسيجية مشتقة من بعض خلايا الدم البيضاء — تمد زوائد رفيعة خيطية لاصطياد البكتيريا وحطام الخلايا و"تسح بها" ليتم هضمها بواسطة الخلية. مثل عمال النظافة الصغار، تحافظ ا لبلعميات بذلك على نظافة أنسجتنا. الصفائح الدموية تمد زوائد كاذ بة رفيعة لتلتصق ببعضها البعض وبجدران الأوعية الدموية التالفة، م كونة سدادات توقف النزيف مؤقتًا.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

6. كيف يعتمد تركيب غشاء البلازما على الطبيعة الأمفيباثية للفوسفو ليبيدات؟
7. عرف البروتينات المحيطية)peripheral(مقابل البروتينات العابرة للغشاء)transmembrane proteins(.
8. اشرح الفروقات بين المستقبل، المصنخة، وجزيء التصاق الخلا يا.
9. كيف يختلف البوابة عن بروتينات القناة الأخرى؟ ما هي العوامل ال ثلاثة التي تفتح وتغلق بوابات الغشاء؟
10. ما الأدوار المتعلقة التي يلعبها cAMP، وأدينيلات سيكلاز، وا لكينازات في وظيفة الخلية؟
11. حدد عدة أسباب تجعل الغليكوكاليكس مهمًا لبقاء الإنسان.
12. كيف يختلف كل من الأهداب والزوائد الدقيقة في التركيب والوظيفة؟

هذا يجعل المزيد من الغشاء متاحًا للجسيمات للانتشار من خلا له.

- نفاذية الغشاء. يعتمد الانتشار عبر الغشاء على مدى نفاذيته للجسيمات. على سبيل المثال، تنتشر أيونات البوتاسيوم بسر عة أكبر من أيونات الصوديوم عبر غشاء البلازما. المواد غير ال قطبية، الكارهة للماء، القابلة للذوبان في الدهون مثل الأكسجي ن وأكسيد النيتريك والكحول والستيرويدات تنتشر عبر منا طق الفسفوليبيد في غشاء البلازما. الماء والذائبات الصغيرة ا لمشحونة المحبة للماء مثل الإلكتروليتات لا تختلط بالدهون لكنها تنتشر أساسًا عبر بروتينات القناة في الغشاء. يمكن للخلا يا تعديل نفاذيتها لمثل هذه المادة عن طريق إضافة بروتينات القناة إلى الغشاء، أو إزالتها، أو عن طريق فتح وإغلاق بوابات ا لغشاء.

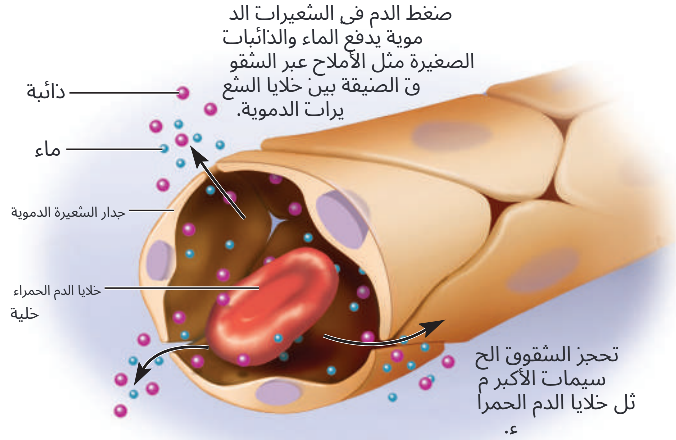
3.3ح الاسموزية

الاسموزية[16] هي التدفق الصافي للماء من جانب إلى آخر عبر غشاء ن صف نافذ. وهي ضرورية لتوزيع الماء في الجسم)توازن السوائل(. الاخ تلالات في الاسموزية تكمن وراء مشاكل مثل الإسهال، الإمساك، ار تفاع ضغط الدم، والوذمة)تورم الأنسجة(؛ كما أن الاسموزية تعتبر أمرًا حيويًا في علاج السوائل الوريدية)I.V.(.

تحدث الاسموزية عبر أغشية غير حية، مثل أغشية السيلوفان وا لغشاء الكلوي، وعبر أغشية البلازما للخلايا. الاتجاه المعتاد للحركة ال صافية هو من الجانب الأكثر مائية، الذي يحتوي على تركيز أقل من ال مادة المذابة، إلى الجانب الأقل مائية، الذي يحتوي على تركيز أعلى م ن المذاب. سبب تراكم الماء على الجانب ذي التركيز العالي للمذاب هو أنه عندما تصادف جزيئات الماء جسيمًا مذابًا، تميل إلى الارتباط به لتشكيل *كرة ترطيب*)انظر الشكل 2.9(. على الرغم من أن هذا ار تباط فضفاض وقابل للعكس، إلا أنه يجعل جزيئات الماء تلك أقل تو فرًا للانتشار مرة أخرى عبر الغشاء إلى الجانب الذي أتت منه. في الجو هر، تجذب جسيمات المذاب على جانب واحد من الغشاء الماء بعيدًا عن الجانب الآخر. وبالتالي، يتراكم الماء على الجانب الذي يحتوي على أكبر كمية من المذاب. كل هذا يفترض أن جزيئات المذاب المعنية لا يمكنها المرور عبر الغشاء، بل تبقى على جانب واحد. معدل واتجاه الا سموزية يعتمدان على التركيز النسبي لهذه المذاب غير النفاذة على جا نبي الغشاء.

تمر كميات كبيرة من الماء حتى عبر المناطق الكارهة للماء من ال فسفوليبيد في غشاء البلازما، لكن الماء يمر بسهولة أكبر عبر بروتينات القناة المسماة الأكوابورينات، المتخصصة في الماء. يمكن للخلايا زيا دة معدل الأسموزية عن طريق تركيب المزيد من الأكوابورينات في الغ شاء أو تقليل المعدل بإزالتها. بعض خلايا الكلى، على سبيل المثال، تنظم معدل فقدان الماء في البول عن طريق إضافة أو إزالة الأكوابوري نات.

يمكن للخلية تبادل كمية هائلة من الماء عن طريق الأسموزية. ف ي خلايا الدم الحمراء، على سبيل المثال، كمية الماء التي تمر عبر غشا ء البلازما في كل ثانية تعادل 100 ضعف حجم الخلية.



الشكل 3.13 الترشيح عبر جدار الشعيرة الدموية. يمر الماء والذا ئبات الصغيرة عبر الفجوات بين الخلايا، بينما تُحجز خلايا الدم والجسيما ت الكبيرة الأخرى.

عند درجة حرارة الجسم، يتحرك جزيء الماء المتوسط حوالي 2500 كم /ساعة)1500 ميل/ساعة(! ومع ذلك، تكون الجزيئات مكتظة جدًا لدر جة أنها لا تستطيع السفر لمسافة طويلة قبل أن تصطدم ببعضها البع ض وترتد في اتجاه جديد، مثل كرات البلياردو المتصادمة. لذلك، فإن معدل الانتشار أبطأ بكثير من سرعة حركة الجزيئات.

يحدث الانتشار بسهولة في الهواء أو الماء ولا يتطلب بالضرورة و جود غشاء—على سبيل المثال، عندما ينتشر رائحة من مصدرها إلى أ نفك. ومع ذلك، إذا كان هناك غشاء في مسار جزيئات الانتشار، وإذا كان هذا الغشاء نفاذًا لتلك المادة، فإن الجزيئات ستمر من جانب الغ شاء إلى الجانب الآخر. هذه هي الطريقة التي ينتقل بها الأكسجين من الهواء الذي نستنشقه إلى مجرى الدم. يعتمد علاج الغسيل الكلوي لمر ضى الكلى على انتشار المذاب عبر أغشية الغسيل الكلوي الصناعية.

معدلات الانتشار مهمة لبقاء الخلية لأنها تحدد مدى سرعة حصو ل الخلية على المغذيات أو التخلص من الفضلات. بعض العوامل ال تي تؤثر على معدل الانتشار عبر الغشاء هي كما يلي:

- درجة الحرارة. الانتشار مدفوع بالطاقة الحركية للجسيمات، ود رجة الحرارة هي مقياس لتلك الطاقة الحركية. كلما كانت الما دة أكثر دفئًا، زادت سرعة انتشار جسيماتها. لهذا السبب ينتشر السكر بسرعة أكبر في الشاي الساخن مقارنة بالشاي ا لمثلج.
- الوزن الجزيئي. الجزيئات الثقيلة مثل البروتينات تتحرك ببطء أ كثر وتنتشر أبطأ من الجسيمات الخفيفة مثل الإلكتروليتات والغ ازات. كما أن الجزيئات الصغيرة تمر عبر مسام الغشاء بسهو لة أكبر من الكبيرة.
- شدة تدرج التركيز. تشير شدة التدرج إلى فرق التركيز بين نقط تين. تنتشر الجسيمات بسرعة أكبر إذا كان هناك فرق تركيز أك بر، مثل كرة تتدحرج بسرعة أكبر على منحدر أكثر انحدارًا.
- مساحة سطح الغشاء. كما ذُكر سابقًا، السطح القمي للخلايا ا لمتخصصة في الامتصاص)على سبيل المثال، في الأمعاء الد قيقة(غالبًا ما يكون مطويًا بشكل مكثف إلى ميكروفيلي.

---

[16] *osm*= دفع، دفع؛ *osis*= حالة، عملية
[17] *aqua* = ماء؛ *por* = مسام؛ *in* = بروتين

▶▶▶ طبق ما تعرفه

إذا كانت تركيز المادة المذابة في الجانب ب نصف ما كانت عليه في التجربة الأصلية، هل سيصل السائل في ذلك الجانب إلى م ستوى أعلى أم أقل من السابق؟ اشرح.

الانتشار الأسموزي العكسي هو عملية يتم فيها تطبيق ضغط مي كانيكي على أحد جانبي النظام يمكنه التغلب على الضغط الأسموزي و دفع الماء عبر الغشاء عكس تدرج تركيزه. يُستخدم هذا المبدأ لإنشاء م اء نقي للغاية للاستخدام المختبري ولتحلية مياه البحر، وتحويلها إلى م ياه عذبة صالحة للشرب — وهو أمر مهم للدول الجافة والسفن في ال بحر. المضخة الرئيسية في الجسم، القلب، تدفع الماء خارج أصغر الأو عية الدموية)الشعيرات الدموية(بواسطة الانتشار الأسموزي العكسي — وهي عملية تُسمى *ترشيح الشعيرات الدموية*. سيكون التوازن بين الانتشار الأسموزي والترشيح اعتبارًا مهمًا عندما ندرس تبادل السوائ ل عبر الشعيرات الدموية في الفصل 20. يحتوي بلازما الدم أيضًا على الألبومين. في المناقشة السابقة، الجانب ب يشبه مجرى الدم عالي ا لبروتين والجانب أ يشبه سائل الأنسجة منخفض البروتين المحيط بال شعيرات الدموية. يخرج الماء من الشعيرات الدموية عن طريق الترش يح، لكن هذا يتوازن تقريبًا مع دخول الماء إلى الشعيرات الدموية عن طريق الانتشار الأسموزي.

الشكل 3.14 هو نموذج تصوري للانتشار الأسموزي. تخيل حجرة مقسمة بواسطة غشاء نفاذ انتقائي. الجانب أ يحتوي على ماء مقطر و الجانب ب يحتوي على جزيئات كبيرة من مادة مذابة غير نافذة — أي مادة مذابة مثل البروتين لا يمكنها المرور عبر مسام الغشاء بسبب ح جمها أو خصائص أخرى. تمر جزيئات الماء من الجانب أ إلى ب)الش كل 3.14أ(وتلتصق بجزيئات المادة المذابة على الجانب ب، مما يعي ق حركتها للعودة إلى الجانب أ.

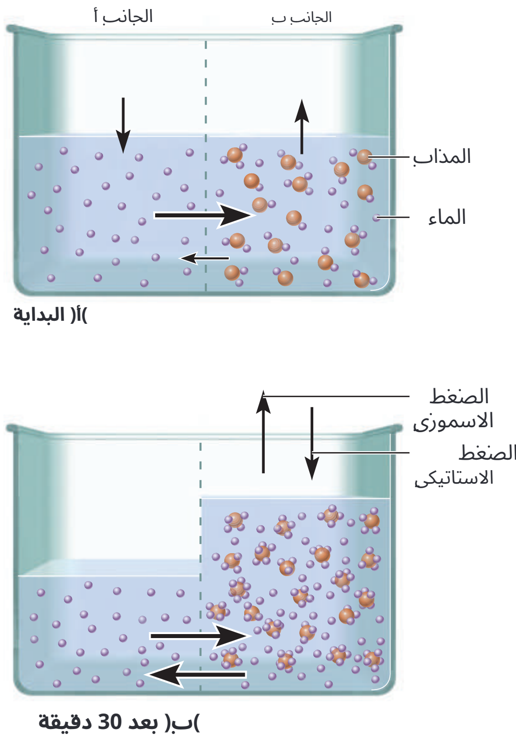
في مثل هذه الظروف، سينخفض مستوى الماء في الجانب أ وير تفع المستوى في الجانب ب. قد يبدو أن هذا سيستمر إلى ما لا نهاية حتى يجف الجانب أ. لكن هذا لن يحدث، لأنه مع تراكم الماء في الجا نب ب، سيصبح أثقل ويمارس قوة أكبر تُسمى الضغط الهيدروستا تيكي على ذلك الجانب من الغشاء. هذا سيسبب بعض ترشيح الماء من ب إلى أ. في نقطة ما، ستتساوى سرعة الترشيح مع سرعة الانت شار الأسموزي "الأمامي"، سيمر الماء عبر الغشاء بالتساوي في كلا الا تجاهين، وسيتباطأ الانتشار الأسموزي الصافي ويتوقف. عند هذه الن قطة، سيحدث توازن)توازن بين القوى المتعارضة(. الضغط الهيدرو ستاتيكي المطلوب على الجانب ب لإيقاف الانتشار الأسموزي يُسمى الضغط الأسموزي. كلما زادت كمية المادة المذابة غير النافذة في ب ، زاد الضغط الأسموزي.

3.3د الأسمولارية والتوترية

الأسمولارية، أو تركيز الأسموزي للسوائل الجسدية لها تأثير كبير على وظيفة الخلايا، لذا من المهم فهم الوحدات التي يُقاس بها. عادة ما يع بر علماء الفسيولوجيا والأطباء عن ذلك بوحدة الميلي أسمول لكل ل تر)mOsm/L(، وهي وحدة قياس تعبر عن كمية الجسيمات غير النا فذة لكل لتر من المحلول. أساس هذه الوحدة من التركيز موضح في ا لملحق ب. يقيس بلازما الدم، وسوائل الأنسجة، والسوائل داخل الخلا يا حوالي 300 mOsm/L.

التوترية هي قدرة المحلول على التأثير في حجم وضغط السائل دا خل الخلية. إذا لم تستطع المادة المذابة المرور عبر غشاء البلازما ولكنه ا تبقى أكثر تركيزًا على جانب واحد مقارنة بالجانب الآخر، فإنها تسبب الانتشار الأسموزي. المحلول منخفض التوتر[18] له تركيز أقل من الموا د المذابة غير النافذة مقارنة بالسائل داخل الخلايا)ICF(. تمتص الخلا يا في محلول منخفض التوتر الماء، وتنتفخ، وقد تنفجر *)تتحلل(*)ال شكل 3.15أ(. الماء المقطر هو المثال الأقصى؛ كمية كافية منه تُعطى للشخص عن طريق الوريد قد تؤدي إلى تحلل خلايا الدم، مع عواقب و خيمة. المحلول عالي التوتر[19] هو المحلول الذي يحتوي على تركيز أعل ى من المواد المذابة غير النافذة مقارنة بالسائل داخل الخلايا.
يتسبب ذلك في فقدان الخلايا للماء وانكماشها *)تجعد(*)الشكل 3.15ج(.
قد تموت هذه الخلايا بسبب تمزق الأغشية وفقدان السيتوبلازم. في المحال يل متساوية التوتر20 ، يكون التركيز الكلي للمذاب غير النفاذ هو نفسه في ا لسائل داخل الخلية—لذا، لا تسبب المحاليل متساوية التوتر أي تغيير في ح جم الخلية أو شكلها)الشكل 3.15ب(.

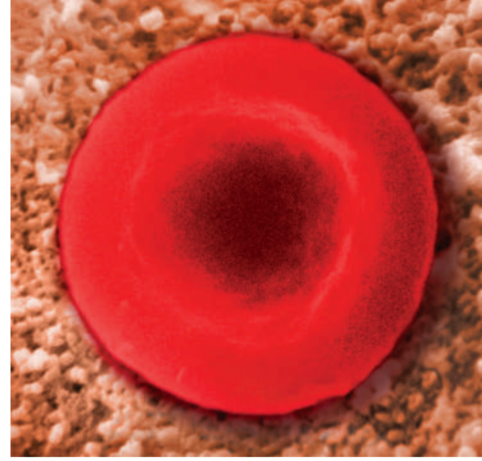
من الضروري أن تكون الخلايا في حالة توازن أسموزي مع السائل المحيط بها، وهذا يتطلب أن يحتوي السائل خارج الخلية على نفس تركيز المذاب غير النفاذ كما في السائل داخل الخلية. عادةً ما تكون ال سوائل الوريدية المعطاة للمرضى محاليل متساوية التوتر، ولكن



الشكل 3.14 الاسموز. تمثل الخطوط المتقطعة غشاءً نصف نافذ يقسم الحجرة إل ى نصفين.)أ(التدفق الصافي الأولى للماء من الجانب أ إلى الجانب ب.
)ب(التوازن بين الضغط الاسموزي والضغط الهيدروستاتيكي، وبالتالي بين الاسموز والترشيح، دون وجود تدفق صافي. تتجمع جزيئات الماء حو ل جزيئات المذاب وبالتالي تتراكم في الجانب ب.

[18] hypo = أقل؛ ton = توتر
[19] hyper = أكثر؛ ton = توتر
[20] iso = متساوي؛ ton = توتر







)أ(منخفض التوتر

)ب(متساوي التوتر

)ح(عالي التوتر

الشكل 3.15 تأثيرات التوترية على خلايا الدم الحمراء)RBCs(.)أ(تورم خلايا الدم الحمراء في وسط منخفض التوتر مثل الماء المقطر.)ب(الحجم والشكل الطبيعي لخلايا الدم الحمراء في وسط متساوي التوتر مثل 0.9% NaCl.)ح(انكماش خلايا الدم الحمراء في وسط عالي التوتر مثل 2% NaCl.

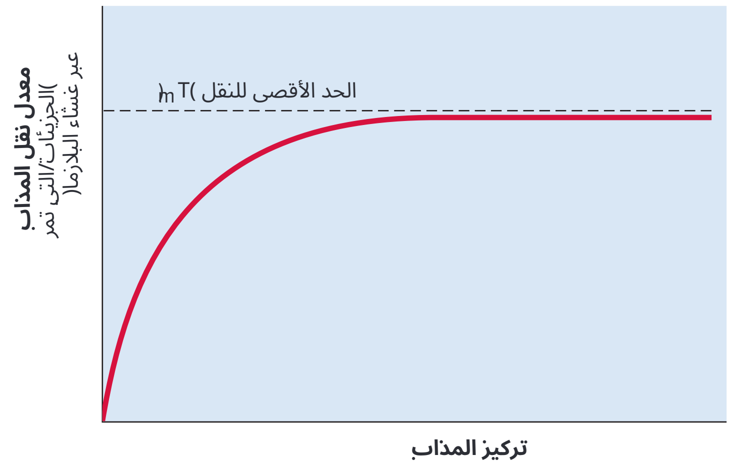
أ-ح: ديفيد م. فيليبس/مصدر العلوم

لا يمكن للمذاب أكثر أن يجعل العملية أسرع. الحوامل مشبعة—لا يوجد المزيد متاح للتعامل مع الطلب المتزايد، ويتوقف النقل عند معدل يسمى الحد الأقصى للنقل (Tmimum (T)m))الشكل 3.16(. يمكنك التفكير في الحوامل كمثل الحافلات. إذا كانت جميع الحافلات في خط معين ممتلئة)"مشبعة"(، فلا يمكنها حمل المزيد من الركاب، بغض النظر عن عدد الأشخاص المنتظرين في محطة الحافلات. كما سنرى في الفصل 23، يفسر الm لماذا يظهر الجلوكوز في بول الأشخاص المصابين بمرض السكري.

الفرق المهم بين الحامل والإنزيم هو أن الحوامل لا تغير كيميائيًا روابطها؛ فهي ببساطة

يتم إعطاء السوائل مفرطة التوتر أو منخفضة التوتر لأغراض خاصة. محلول 0.9% من NaCl، المسمى *المحلول الملحي الطبيعي*، متساوي التوتر مع خلايا الدم البشرية.

من المهم ملاحظة أن الأسمولارية والتوترية ليستا نفس الشيء. اليوريا، على سبيل المثال، هي جزيء عضوي صغير يمكنه اختراق أغشية البلازما بسهولة. إذا وُضعت الخلايا في 300 mOsm/L من اليوريا، فإن اليوريا تنتشر إلى داخلها)باتجاه انخفاض تركيزها(، ويتبعها الماء عن طريق الأسموز، فتنتفخ الخلايا وتنفجر. لذلك، فإن 300 mOsm/L من اليوريا ليست متساوية التوتر مع الخلايا. بالمقابل، كلوريد الصوديوم يخترق أغشية البلازما بشكل ضعيف. في محلول 300 mOsm/L من NaCl، لا يحدث تغير كبير في حجم الخلية؛ هذا المحلول متساوي التوتر



الشكل 3.16 تشبع الحوامل والحد الأقصى للنقل. حتى نقطة معينة، زيادة تركيز المذاب تزيد من معدل النقل عبر الغشاء. عند الحد الأقصى للنقل)Tm(، مع ذلك، تكون جميع بروتينات الحامل مشغولة ولا يمكنها نقل المذاب بشكل أسرع، حتى لو تمت إضافة المزيد من المذاب.

3.3e النقل المعتمد على الحامل

العمليات المتعلقة بنقل عبر الغشاء التي تم وصفها حتى هذه النقطة لا تتطلب بالضرورة غشاءً خلويًا؛ إذ يمكن أن تحدث أيضًا عبر أغشية صناعية. ولكن الآن، نصل إلى العمليات التي يكون الغشاء الخلوي ضروريًا لها، لأنها تستخدم بروتينات النقل، أو الحوامل. لذلك، تُصنف العمليات الثلاث التالية على أنها نقل معتمد على الحامل. في هذه الحالات، يرتبط المذاب بحامل في غشاء البلازما، الذي يغير شكله ثم يطلق المذاب إلى الجانب الآخر. يمكن للحوامل نقل المواد إلى داخل الخلية أو خارجها، وإلى داخل أو خارج العضيات داخل الخلية. العملية سريعة جدًا؛ على سبيل المثال، يمكن لحامل واحد نقل 1000 جزيء جلوكوز في الثانية عبر الغشاء.

تعمل الحوامل بطريقة مشابهة للإنزيمات في بعض الجوانب: المذاب هو ربط)ligand(يرتبط بموقع مستقبل محدد على الحامل، مثل ارتباط الركيزة بالموقع النشط للإنزيم. يظهر الحامل خصوصية لمرتبطه، تمامًا كما يفعل الإنزيم لركيزته. على سبيل المثال، لا يمكن لحامل الجلوكوز نقل الفركتوز. كما تظهر الحوامل تشبعًا؛ فعندما يرتفع تركيز المذاب، تزداد سرعة النقل، ولكن فقط حتى نقطة معينة. عندما يكون كل جزيء حامل مشغولاً، فإن إضافة

الذى لا يمكنه المرور عبر الغشاء بدون مساعدة. يرتبط المذاب بموقع ا
رتباط على الناقل، ثم يغير الناقل شكله ويطلق المذاب على الجانب ا
لآخر من الغشاء.

النقل النشط الأولى هو عملية يقوم فيها ناقل بنقل مادة عبر غ
شاء الخلية *عكس تدرج تركيزها* باستخدام الطاقة التى يوفرها ATP.
تمامًا كما يتطلب دفع كرة صعودًا على منحدر)مدخل طاقة(، يتطلب
هذا الآلية طاقة لتحريك المادة عكس تدرج تركيزها. يوفر ATP هذه ال
طاقة عن طريق نقل مجموعة فوسفات إلى بروتين النقل. مضخة الكا
لسيوم التى ذُكرت سابقًا تستخدم هذه الآلية. على الرغم من أن Ca^{2+}
أكثر تركيزًا بالفعل فى السائل خارج الخلية مقارنةً داخل الخلية، إلا أن
هذا الناقل يضخ المزيد منه إلى الخارج. كما يتيح النقل النشط للخلايا
امتصاص الأحماض الأمينية التى تكون أكثر تركيزًا بالفعل فى السيتو
بلازم مقارنةً بالسائل خارج الخلية.

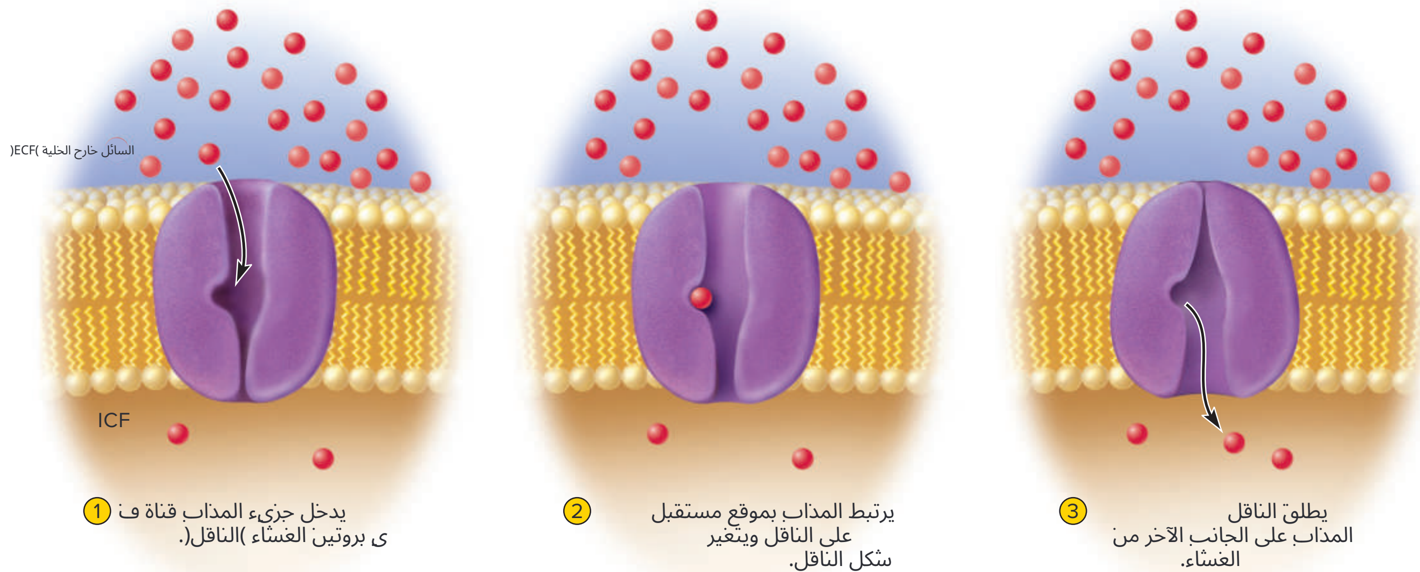
النقل النشط الثانوى يتطلب أيضًا مدخل طاقة، لكنه يعتمد بش
كل غير مباشر فقط على ATP. على سبيل المثال، تحتوى بعض أنابي
ب الكلى على بروتينات تسمى *ناقلات الصوديوم-الجلوكوز (SGLTs)*
التى ترتبط فى نفس الوقت بالصوديوم (Na^+) والجلوكوز وتنقلهما إلى
خلايا الأنابيب، مما يحفظ الجلوكوز من الفقدان فى البول)الشكل 3.
18(. الناقل SGLT نفسه لا يستخدم ATP. ومع ذلك، فإنه يعتمد على
حقيقة أن الخلية تحافظ بنشاط على تركيز منخفض من Na^+ داخليًا،
لذا يتفرق Na^+ نزولًا على تدرجه إلى الخلية. "يركب" الجلوكوز مع Na^+
الداخل. لكن ما يحافظ على تركيز Na^+ داخل الخلية منخفضًا هو أن
الغشاء القاعدى للخلية يحتوى على مضخة صوديوم-بوتاسيوم مدفوع
ة بـ ATP تزيل Na^+ باستمرار من الخلية. لو لم يكن هذا، فإن تدفق N
a+ والجلوكوز عبر SGLT سيتوقف قريبًا. لذلك، فإن SGLT لا يستخد
م ATP مباشرة، لكنه يعتمد على ATP لتشغيل

التقاطها من جانب واحد من الغشاء وإطلاقها،
دون تغيير، على الجانب الآخر.

هناك ثلاثة أنواع من الناقلات: الناقل الأحادى، الناقل المتماثل، و
الناقل المضاد. الناقل الأحادى **uniport**[21] ينقل نوعًا واحدًا فقط من ا
لمذاب. على سبيل المثال، تقوم معظم الخلايا بضخ الكالسيوم باستخ
دام ناقل أحادى، للحفاظ على تركيز منخفض داخل الخلية حتى لا تتبلو
ر أملاح الكالسيوم فى السيتوبلازم. بعض الناقلات تحرك مذابات متع
ددة عبر الغشاء فى نفس الاتجاه فى نفس الوقت؛ تُسمى هذه العملي
ة النقل المشترك[22] ويُسمى بروتين الناقل الذى يقوم بها ناقل متما
ثل.[23] على سبيل المثال، تحتوى خلايا الامتصاص فى الأمعاء الدقيقة
والكلى على ناقل متماثل يأخذ الصوديوم والجلوكوز فى نفس الوقت.
ناقلات أخرى تحرك مذابات متعددة فى اتجاهين متعاكسين؛ تُسمى
هذه العملية النقل المضاد ويُسمى بروتين الناقل ناقل مضاد.24 ع
لى سبيل المثال، تحتوى جميع الخلايا تقريبًا على ناقل مضاد يسمى
مضخة الصوديوم-البوتاسيوم التى تزيل Na^+ باستمرار من الخلية و
تدخل K^+.

هناك ثلاث آليات للنقل بواسطة الناقلات:
الانتشار الميسر، النقل النشط الأولى، والنقل النشط الثانوى. الانتشا
ر الميسر[25])الشكل 3.17(هو نقل مذاب بواسطة ناقل عبر الغشاء
نزولًا على تدرج تركيزه. لا يتطلب استهلاك طاقة أيضية)ATP(من ال
خلية. ينقل مذابات مثل الجلوكوز

[21] *uni* = واحد؛ *port* = يحمل
[22] *co* = معًا؛ *trans* = عبر؛ *port* = يحمل
[23] *sym* = معًا؛ *port* = يحمل
[24] *anti* = عكس؛ *port* = يحمل
[25] *facil* = سهل

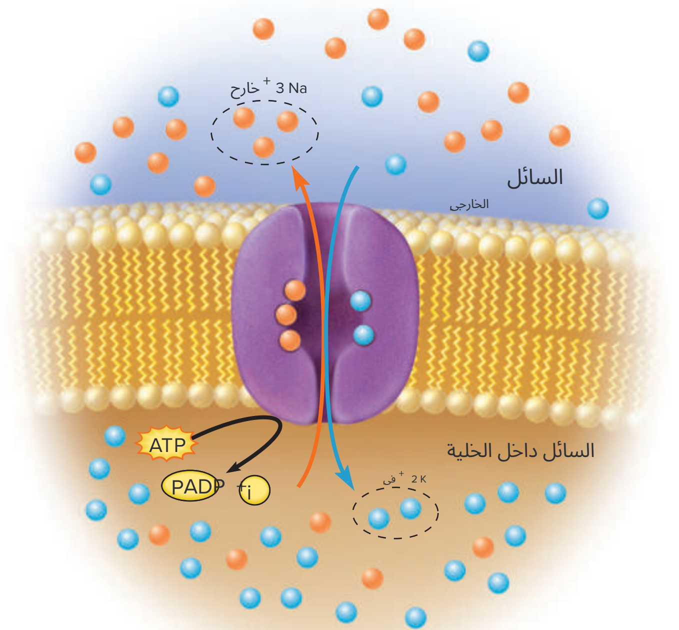


الشكل 3.17 الانتشار الميسر. لاحظ أن المذاب يتحرك باتجاه انخفاض تركيزه.

إذا شككت فى أهمية مضخة Na^+–K^+، فكر أن نصف السعرات الحرارية التى تستخدمها يوميًا تذهب لهذا الغرض فقط. تعمل المضخة عادةً بحوالى 10 دورات فى الثانية، ولكن فى ظروف معينة يمكن أن تصل إلى 100 دورة فى الثانية. أنواع مختلفة من الخلايا تحتوى على عدد قليل فقط من مضخات Na^+–K^+ (خلايا الدم الحمراء) إلى ملايين منها (الخلايا العصبية)، لذا قد تقوم الخلية المتوسطة بتبادل 30 مليون أيون Na^+ و20 مليون أيون K^+ واستهلاك 10 ملايين جزىء ATP فى الثانية. بالإضافة إلى تعويض تسرب الغشاء البلازمى، لمضخة Na^+–K^+ على الأقل أربع وظائف:

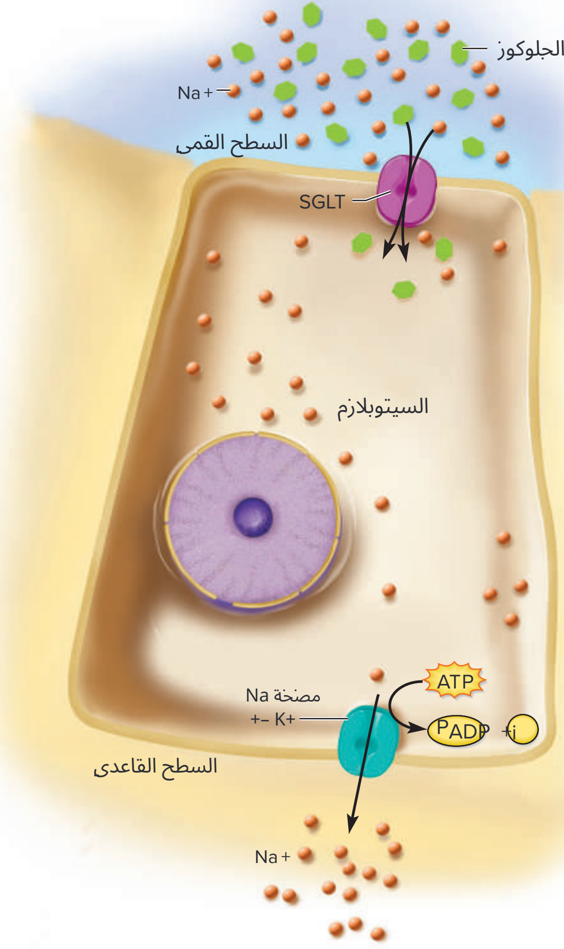
1. النقل النشط الثانوى. تحافظ على تدرج تركيز Na^+ حاد عبر الغشاء. مثل الماء خلف سد، هذا التدرج هو مصدر للطاقة الكامنة التى يمكن استغلالها لأداء أعمال أخرى. ال SGLT المذكورة سابقًا هى مثال على ذلك.

2. تنظيم حجم الخلية. بعض الأنيونات محصورة داخل الخلية ولا يمكنها اختراق غشاء البلازما. هذه "الأنيونات الثابتة"، مثل البروتينات والفوسفات، تجذب وتحتفظ بالكتيونات. إذا لم يكن هناك ما يصحح ذلك، فإن احتباس هذه الأيونات سيسبب تورمًا أسموزيًا وقد يؤدى إلى تحلل الخلية. ومع ذلك، فإن تورم الخلية يزيد من نشاط مضخات Na^+–K^+. حيث أن كل دورة من المضخة تزيل أيونًا واحدًا أكثر مما تدخل، فالمضخات تشكل جزءًا من حلقة تغذية راجعة سلبية تقلل من تركيز الأيونات داخل الخلية، تتحكم فى الأسمولارية، وتمنع تورم الخلية.



الشكل 3.19 مضخة الصوديوم–البوتاسيوم (Na^+–K^+ ATPase).

لماذا تتوقف مضخة Na^+–K^+ عن العمل، ولكن ليس الأسموزية، بعد موت الخلية؟



الشكل 3.18 النقل النشط الثانوى. فى هذا المثال، ناقل الصوديوم–الجلوكوز (SGLT) على السطح القمى للخلية يقوم بالانتشار الميسر، لكنه يعتمد على النقل النشط بواسطة مضخة Na^+–K^+ فى قاعدة الخلية للحفاظ على عمله.

مضخة الصوديوم$^+$– البوتاسيوم$^+$؛ لذلك فهى بروتين نقل نشط ثانوى. (*النقل النشط الثانوى* هو اسم غير مناسب لهذا، حيث أن SGLT فى الواقع يقوم بالانتشار الميسر، لكن اعتماده على مضخة نقل نشط أولية أدى إلى هذا الاسم.(مضخة الصوديوم–البوتاسيوم (Na^+–K^+) نفسها (الشكل 3.19) هى مثال جيد على النقل النشط الأولى. وتعرف أيضًا باسم Na^+–K^+ *ATPase* لأنها إنزيم يحلل ATP. مضخة Na^+–K^+ ترتبط بثلاثة أيونات Na^+ فى نفس الوقت على الجانب السيتوبلازمى للغشاء، وتطلقها إلى السائل خارج الخلية (ECF)، وترتبط بأيونين K^+ فى نفس الوقت من السائل خارج الخلية، وتطلقهما داخل الخلية. كل دورة من المضخة تستهلك جزىء ATP واحد وتبادل ثلاثة أيونات Na^+ بمقابل أيونين K^+. هذا يحافظ على تركيز K^+ أعلى وتركيز Na^+ أقل داخل الخلية مقارنة بالسائل خارج الخلية. هذه الأيونات تتسرب باستمرار عبر الغشاء، ومضخة Na^+–K^+ تعوض ذلك مثل سحب الماء من قارب به تسرب.

هناك ثلاثة أشكال من الابتلاع الخلوي: الالتقام، الشرب الخلوي، و الابتلاع الخلوي المتوسط بالمستقبلات. الالتقام[28] (FAG-oh-sy-TOE-sis)، أو "أكل الخلية"، هو عملية ابتلاع جزيئات مثل البكتيريا، الغبار، والحطام الخلوي—جزيئات كبيرة بما يكفي لرؤيتها بالمجهر. على سبيل المثال، العدلات)فئة من خلايا الدم البيضاء(تحمي الجسم من العدوى عن طريق ابتلاع وقتل البكتيريا. تقضي العدلة معظم حياتها في الزحف داخل الأنسجة الضامة بواسطة أقدام كاذبة. عندما تواجه العدلة بكتيريا، تحيط بها بأقدامها الكاذبة وتحاصرها في حويصلة تسمى الحويصلة الالتقامية[29]—حويصلة في السيتوبلازم محاطة بغشاء)الشكل 3.20(. تندمج الليسوسومات مع الحويصلة الالتقامية، محولة إياها إلى الحويصلة الالتقامية الليسوسومية، وتساهم بإنزيمات تدمر الغزاة. بعض أنواع الخلايا الالتقامية الأخرى موصوفة في الفصل 21. بشكل عام، الالتقام هو وسيلة للحفاظ على الأنسجة خالية من الحطام والميكروبات المعدية. بعض الخلايا المسماة البلعميات)تعني حرفيًا "الآكلات الكبيرة"(تبتلع ما يعادل 25% من حجمها الخاص في الساعة.

الشرب الخلوي[30] (PIN-oh-sy-TOE-sis)، أو "شرب الخلية"، هو عملية أخذ قطرات من السائل خارج الخلية تحتوي على جزيئات مفيدة للخلية. بينما يحدث الالتقام في عدد قليل فقط من الخلايا المتخصصة، يحدث الشرب الخلوي في جميع الخلايا البشرية. تبدأ العملية عندما ينخفض غشاء البلازما أو يغوص في نقاط معينة. تنفصل هذه الحفر قريبًا عن الغشاء السطحي وتشكل حويصلات صغيرة محاطة بالغشاء الحويصلات الشربوية في السيتوبلازم. تحتوي الحويصلات على قطرات من السائل خارج الخلية مع أي جزيئات موجودة هناك.

الابتلاع الخلوي المتوسط بالمستقبلات)الشكل 3.21(هو شكل أكثر انتقائية من الالتقام أو الشرب الخلوي. يتيح للخلية أخذ جزيئات محددة من السائل خارج الخلية مع الحد الأدنى من المادة غير الضرورية. ترتبط الجزيئات في السائل خارج الخلية بمستقبلات محددة على غشاء البلازما. ثم تتجمع المستقبلات وينخفض الغشاء عند هذه النقطة، مكونًا حفرة مغطاة ببروتين غشائي طرفي يسمى *الكلاترين*.[31] تنفصل الحفرة قريبًا لتشكل *حويصلة مغطاة بالكلاترين* في السيتوبلازم.

قد يعمل الكلاترين كـ "ملصق عنوان" على الحويصلة المغطاة الذي يوجهها إلى الوجهة المناسبة داخل الخلية، أو قد يُعلم الهياكل الأخرى في الخلية بما يجب فعله مع الحويصلة. أحد أمثلة الالتقام الخلوي المُتوسط بالمستقبلات هو امتصاص البروتينات الدهنية منخفضة الكثافة)LDLs—قطرات مغطاة بالبروتين من الكوليسترول والدهون الأخرى في الدم. تحتوي الخلايا البطانية الرقيقة التي تبطن أوعيتنا الدموية على مستقبلات LDL على أسطحها وتمتص LDLs في حويصلات مغطاة بالكلاترين. داخل الخلية، يتم تحرير LDL من الحويصلة واستقلابه، ويتم إعادة تدوير الغشاء مع مستقبلاته إلى سطح الخلية.
تمتص الخلايا البطانية أيضًا الأنسولين عن طريق الالتقام الخلوي المُتوسط بالمستقبلات. الأنسولين كبير جدًا بحيث لا يمكنه المرور عبر القنوات في غشاء البلازما، ومع ذلك يجب أن يخرج من الدم ويصل إلى الخلايا المحيطة ليؤدي وظيفته. تمتص الخلايا البطانية الأنسولين عن طريق الالتقام الخلوي المُتوسط بالمستقبلات، وتنقله

3. الحفاظ على جهد الغشاء. جميع الخلايا الحية تمتلك فرق شحنة كهربائية يُسمى *جهد الغشاء الراكد* عبر الغشاء البلازمي. مثل قطبي البطارية، يكون داخل الغشاء مشحونًا سلبًا وخارج الغشاء مشحونًا إيجابًا. ينبع هذا الاختلاف من التوزيع غير المتساوي للأيونات على جانبي الغشاء، والذي تحافظ عليه مضخة $Na^+–K^+$. جهد الغشاء ضروري لاستثارة خلايا الأعصاب والعضلات.

4. إنتاج الحرارة. عندما يصبح الطقس باردًا، لا نزيد فقط من حرارة المدفأة في منازلنا بل أيضًا "المدفأة" في أجسامنا. يحفز هرمون الغدة الدرقية الخلايا على إنتاج المزيد من مضخات $Na^+–K^+$. وبما أن هذه المضخات تستهلك ATP، فإنها تطلق حرارة منه، مما يعوض حرارة الجسم التي نفقدها إلى الهواء البارد المحيط بنا.

▶▶▶ طبق ما تعرفه

خاصية مهمة للبروتينات هي قدرتها على تغيير الشكل استجابة لارتباط أو انفصال الليجند)انظر "بنية البروتين" في القسم 2.4e(. اشرح كيف أن هذا ضروري للنقل الوسيط بواسطة الحامل.

باختصار، النقل الوسيط بواسطة الحامل هو أي عملية تتحرك فيها جزيئات المذاب عبر الغشاء بواسطة بروتين ناقل. يكون البروتين ناقلًا أحادي الاتجاه إذا نقل نوعًا واحدًا فقط من المذاب، وناقلًا متماثلًا إذا حمل نوعين من المذاب في نفس الاتجاه، وناقلًا معاكسًا إذا حمل نوعين أو أكثر من المذاب في اتجاهين متعاكسين. إذا لم يعتمد الناقل على ATP على الإطلاق وحرك المذاب باتجاه تدرج تركيزه، تُسمى العملية الانتشار الميسر. إذا استهلك الناقل ATP بنفسه وحرك المذاب عكس تدرج تركيزه، تُسمى العملية النقل النشط الأولي. إذا لم يستخدم الناقل ATP مباشرة، لكنه يعتمد على تدرج تركيز ينتجه مضخات $Na^+–K^+$ التي تستهلك ATP في مكان آخر من غشاء البلازما، تُسمى العملية النقل النشط الثانوي.

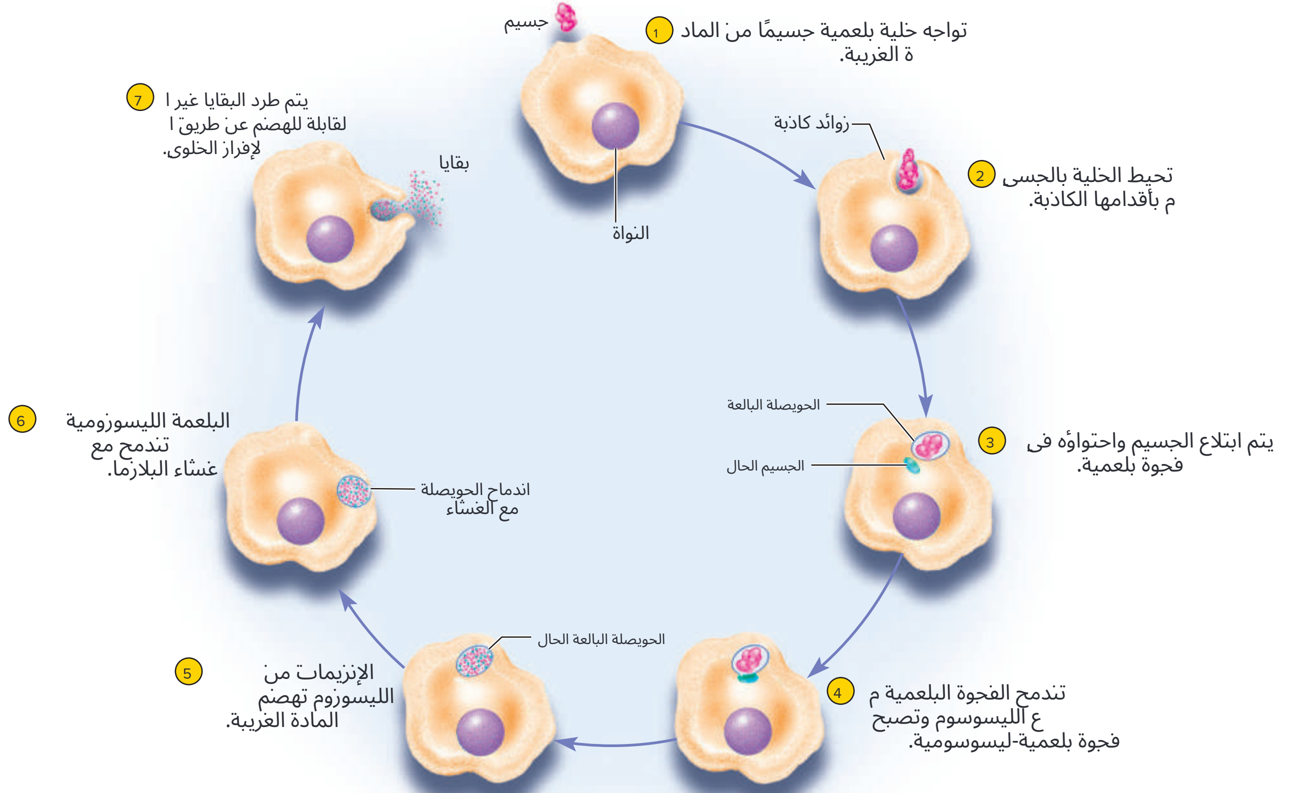
3.3f النقل الحويصلي

حتى الآن، نظرنا في العمليات التي تحرك أيونًا أو جزيئات قليلة في كل مرة عبر غشاء البلازما.
عمليات النقل الحويصلي، بالمقابل، تحرك جزيئات كبيرة، أو قطرات من السائل، أو العديد من الجزيئات دفعة واحدة عبر الغشاء، محتواة في حويصلات شبيهة بالفقاعات من الغشاء.
العمليات الحويصلية التي تدخل المادة إلى الخلية تسمى الابتلاع الخلوي[26] (EN-doe-sy-TOE-sis) وتلك التي تفرج عن المادة من الخلية تس
الإفراز الخلوي[27] (EC-so-sy-TOE-sis).
تستخدم هذه العمليات بروتينات محركة تتحرك مدفوعة بالطاقة من ATP.

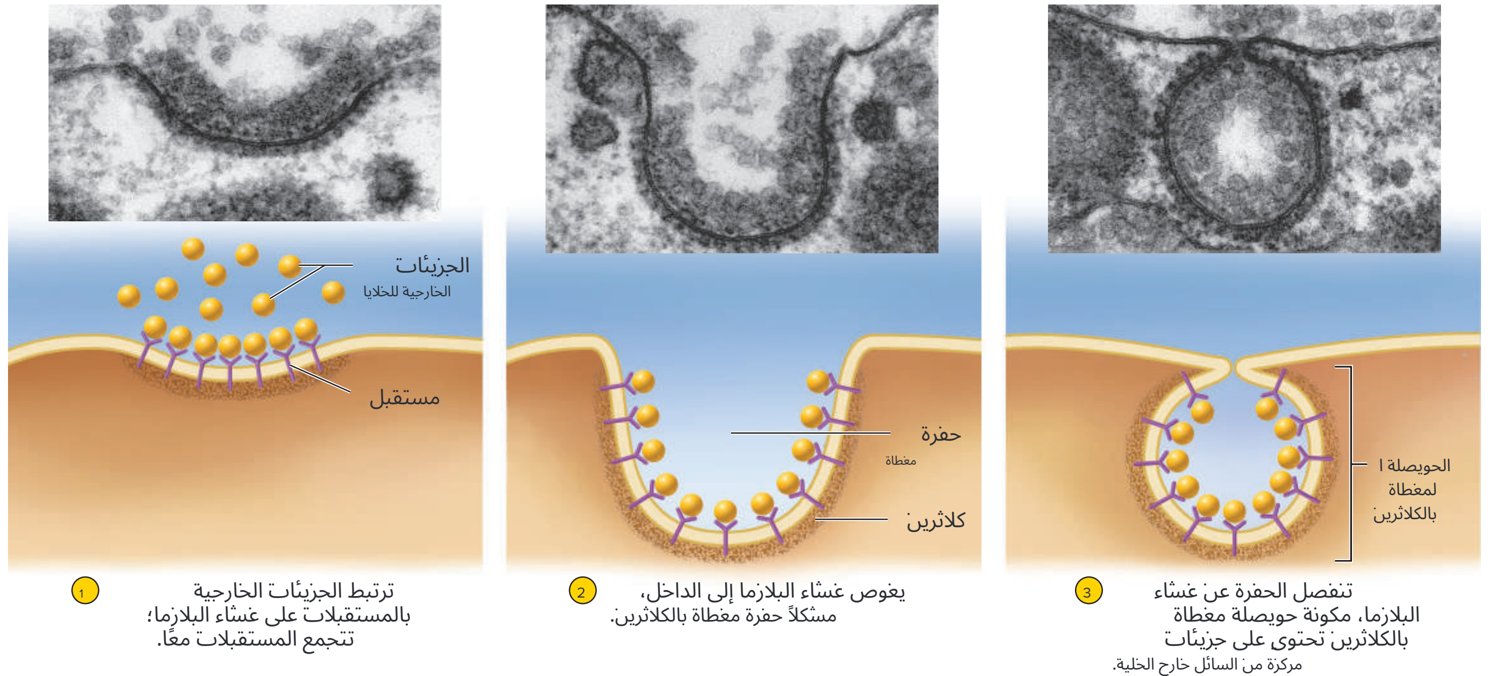
---

[28] *فاجو* = الأكل؛ *سيتو* = خلية؛ *أوزيس* = عملية
[29] *فاجو* = مأكول؛ *سوم* = جسم
[30] *بينو* = الشرب؛ *سيتو* = خلية؛ *أوزيس* = عملية
[31] *كلاثر* = شبكة؛ *إن* = بروتين

[26] *إندو* = إلى الداخل؛ *سيتو* = خلية؛ أوزيس = عملية
[27] *إكسو* = إلى الخارج؛ سيتو = خلية؛ أوزيس = عملية



الشكل 3.20 البلعمة، الهضم داخل الخلية، والإخراج الخلوى.



الشكل 3.21 الابتلاع الخلوى المُوجه بواسطة المستقبلات.

:3–1 بإذن من شركة البيولوجيين المحدودة.

لخلية، وإفراز الأنسولين على الجانب الآخر، حيث تنتظره خلايا الأنسجة. يُسم ى هذا النوع من نقل المواد عبر الخلية)الالتقاط من جانب والإفراج من الجان ب الآخر(بالانتقال الخلوى [32](الشكل 3.22). هذه العملية نشطة بشكل خا ص فى شعيرات العضلات وتنقل كمية كبيرة من الألبومين الدموى إلى سائل الأنسجة.

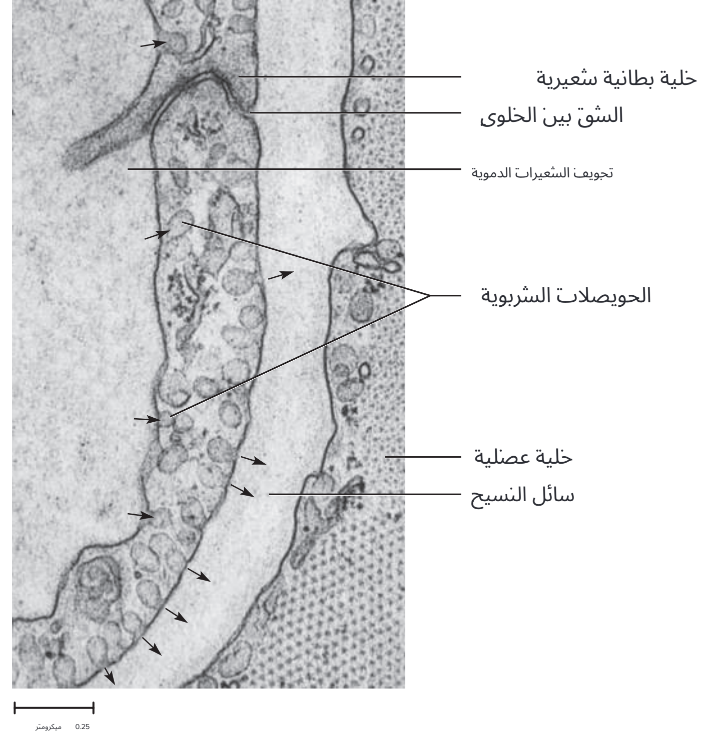
الابتلاع الخلوى المُوجه بالمستقبلات ليس دائمًا فى صالحنا؛ ففى بروسات التهاب الكبد، وشلل الأطفال، والإيدز تخدع خلايانا لابتلاعها عن طريق الابتلاع الخلوى المُوجه بالمستقبلات، مستغلةً هذه الآلية لإ حداث العدوى.

الطرح الخلوى)الشكل 3.23(هو عملية إخراج المواد من الخلي ة. يحدث ذلك، على سبيل المثال، عندما تفرز خلايا البطانة الأنسولين إلى سائل الأنسجة، وتفرز خلايا الحيوانات المنوية إنزيمات لاختراق ا لبويضة، وتفرز خلايا الغدد الثديية سكر الحليب، وتفرز خلايا الغدد الأخ رى الهرمونات. يشبه هذا العملية إلى حد ما الابتلاع الخلوى ولكن بالع كس. تنتقل الحويصلة الإفرازية داخل الخلية إلى السطح و"ترسو" على البروتينات المحيطية لغشاء البلازما. تقوم هذه البروتينات بسحب الغ شاء إلى الداخل وتشكيل تجويف يندمج فى النهاية مع الحويصلة وى سمح لها بإفراز محتوياتها.

قد يتبادر إلى ذهنك سؤال، إذا كان الابتلاع الخلوى يزيل باستمرار أجزاء من غشاء البلازما لتشكيل الحويصلات داخل الخلوية، فلماذا لا يصبح الغشاء أصغر وأصغر؟ الغرض الآخر من الطرح الخلوى هو است بدال غشاء البلازما الذى تمت إزالته بواسطة الابتلاع الخلوى أو الذى تعرض للتلف أو البلى. تُنقل الحويصلات الفارغة إلى السطح الداخلى لغشاء البلازما وتندمج معه. يجب أن يواكب الطرح الخلوى معدل إزالة الغشاء بواسطة الابتلاع الخلوى، وإلا فإن الخلية ستنكمش وتموت. ى تم إعادة تدوير غشاء البلازما باستمرار من سطح الخلية إلى السيتوبلاز م ثم يعود إلى السطح.

الجدول 3.3 يلخص هذه الآليات للنقل.

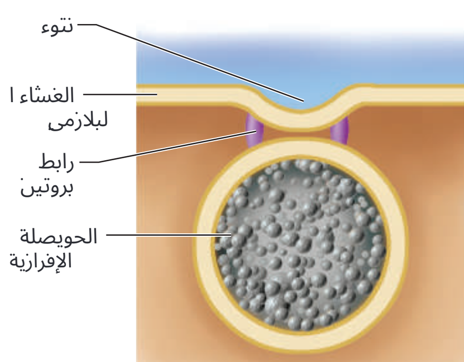
[32] *trans* = عبر؛ *cyt* = خلية؛ *osis* = عملية

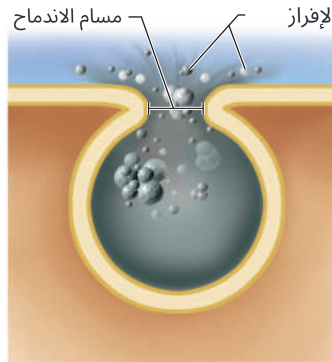


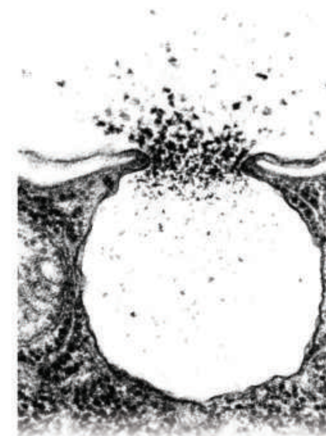
الشكل 3.22 الانتقال الخلوى. تبتلع خلية بطانية لشعيرة دموية قطرات م ن بلازما الدم فى المواقع المشار إليها بالأسهم على الجانب الأيسر. تُ شكل هذه الحويصلات الابتلاعية، التى تنقلها الخلية إلى الجانب الآخ ر. هنا، تُفرغ عن المحتويات بواسطة الطرح الخلوى فى المواقع المشار إليها بالأسهم على الجانب الأيمن من الخلية.

دون فوسيت/مصدر العلوم

لماذا لا يُدرج الانتقال الخلوى كوسيلة منفصلة لنقل الغشاء بالإضافة إلى الابتلاع الخلوى والآليات الأخرى؟







)أ(1 تقترب حويصلة إفرازية من الغشاء البلازمى وتثبت عليه بواسطة بروتينات الربط. ينخفض الغشاء البلازمى فى تلك النقطة ليلاقى الحويصلة.

2 يتحد الغشاء البلازمى والحويصلة لتشكيل مسام اندماج يُفرغ من خلالها محتويات الحويصلة.

)ب(

الشكل 3.23 الإفراز الخلوى)Exocytosis(.)أ(مراحل الإفراز الخلوى.)ب(صورة إلكترونية للإفراز الخلوى.

ب: بإذن من الدكتورة بيرجيت ساتير، كلية ألبرت أينشتاين للطب

الجدول 3.3	طرق نقل الغشاء
النقل بدون ناقلات	**حركة المواد بدون مساعدة بروتينات الناقل**
الترشيح	حركة الماء والذائبات عبر غشاء نفاذ انتقائى نتيجة الضغط الهيدروستاتيكى
الانتشار البسيط	انتشار الجسيمات عبر الماء أو الهواء أو عبر غشاء حى أو صناعى، باتجاه تدرج تركيزها، بدون مساعدة ناقلات الغشاء
الاسموز	التدفق الصافى للماء عبر غشاء نفاذ انتقائى، مدفوع إما بفارق فى تركيز الذائبات أو بقوة ميكانيكية
النقل المعتمد على الناقل	**حركة المواد عبر غشاء الخلية بواسطة بروتينات الناقل**
الانتشار الميسر	نقل الجسيمات عبر غشاء نفاذ انتقائى، باتجاه تدرج تركيزها، بواسطة ناقل لا يستهلك ATP مباشرة
النقل النشط الأولى	نقل جسيمات المذاب عبر غشاء نفاذ انتقائى، عكس تدرج تركيزها، بواسطة ناقل يستهلك ATP
النقل النشط الثانوى	نقل جسيمات المذاب عبر غشاء نفاذ انتقائى، عكس تدرج تركيزها، بواسطة ناقل لا يستخدم ATP بنفسه لكنه يعتمد على تدرجات التركيز الناتجة عن النقل النشط الأولى فى مكان آخر من الغشاء
النقل المشترك	النقل المتزامن لجزيئين أو أكثر من المذابين فى نفس الاتجاه عبر الغشاء بواسطة بروتين ناقل يسمى symport ، باستخدا م إما الانتشار الميسر أو النقل النشط
النقل المضاد	نقل جزيئين أو أكثر من المذابين فى اتجاهين متعاكسين عبر الغشاء بواسطة بروتين ناقل يسمى antiport، باستخدام إما الانتشار الميسر أو النقل النشط
النقل الحويصلى)النقل بالجملة(	**حركة السوائل والجسيمات عبر غشاء البلازما عن طريق الحويصلات الغشائية؛ يستهلك ATP**
الابتلاع الخلوى	النقل الحويصلى للجسيمات إلى داخل الخلية
البلعمة	عملية ابتلاع الجسيمات الكبيرة بواسطة الأقدام الكاذبة؛ "أكل الخلية"
الابتلاع الخلوى السائل	عملية امتصاص السائل خارج الخلية حيث يغوص غشاء البلازما وينقبض ليشكل حويصلات صغيرة تحتوى على قطرات من السائل؛ "شرب الخلية"
الابتلاع الخلوى المُتوسط بواسطة المستقبلات	البلعمة أو الابتلاع الخلوى السائل حيث ترتبط جزيئات المذاب المحددة بالمستقبلات على غشاء البلازما، ثم تُؤخذ إلى داخل الخلية فى حويصلات مغطاة بالكلاثرين مع كمية قليلة من المواد الغريبة
الإفراز الخلوى	عملية التخلص من المادة من الخلية عن طريق اقتراب الحويصلة من سطح الخلية، والاندماج مع غشاء البلازما، وطرد محتوياتها؛ تُستخدم لإفراز إفرازات الخلية، واستبدال غشاء البلازما التالف، واستبدال الغشاء الذى تم إدخاله إلى الداخل بواسطة الالتقام الخلوى)الابتلاع الخلوى(.

20. كيف يختلف البلعمة عن الشرب الخلوى؟

21. صف عملية الإخراج الخلوى. ما هى بعض أغراضها؟

داخل الخلية 3.4

النتائج المتوقعة من التعلم

عندما تكمل هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف الهيكل الخلوى ووظائفه؛

ب. سرد العضيات الرئيسية للخلية، وصف تركيبها، وشرح وظائفها؛ و

ج. تقديم بعض الأمثلة على المحتويات الخلوية وشرح كيف تختلف المحتويات عن العضيات.

نحن الآن نغوص أعمق داخل الخلية لدراسة تراكيبها الداخلية. تُصنف هذه إلى ثلاث مجموعات—*الهيكل الخلوى، العضيات، و المحتويات*—جميعها مدمجة فى السيتوسول.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

13. ما أهمية الترشيح فى فسيولوجيا الإنسان؟

14. ماذا يعنى القول بأن المذاب يتحرك باتجاه تناقص تركيزه؟

15. كيف تساعد عملية التناضح فى الحفاظ على حجم الدم؟

16. عرف الأسمولارية و التوترية واشرح الفرق بينهما.

17. عرف منخفض التوتر، متساوى التوتر و مرتفع التوتر واشرح لماذا هذه المفاهيم مهمة فى الممارسة السريرية.

18. ما القاسم المشترك بين الانتشار الميسر والنقل النشط؟ وكيف يختلفان؟

19. كيف تقوم مضخة الصوديوم-البوتاسيوم Na^+-K^+ بتبادل أيونات الصوديوم مع أيونات البوتاسيوم عبر غشاء البلازما؟ ما هى بعض الأغراض التى تخدمها هذه المضخة؟

تتفكك مرة أخرى لاستخدامها فى مكان آخر داخل الخلية. ومع ذلك،
الأنابيب الدقيقة فى الأهداب، والأسواط، والأجسام القاعدية، والمريكزات
أكثر استقرارًا.

3.4ب العضيات

العضيات)تعنى حرفيًا "الأعضاء الصغيرة"(هى للخلية ما هى الأعضاء
للجسم—هياكل تلعب أدوارًا فسيولوجية فردية فى بقاء الكائن الحى.
لا يوجد تعريف متفق عليه عالميًا لكلمة *عضية*. بعض الجهات تشمل
الأهداب، والزوائد الدقيقة، وحتى الغشاء البلازمى *ضمن* هذا المفهوم
، فى حين يستبعد آخرون الهياكل داخل الخلية مثل الريبوسومات وال
مريكزات لأنها ليست مغلفة بأغشية. ومع ذلك، يعتبر هذا الكتاب الع
ضيات على أنها الهياكل داخل الخلوية، فوق المستوى الجزيئى من ال
تعقيد، التى تلعب أدوارًا لا غنى عنها فى الأيض الخلوى. بعض العض
يات محاطة بأغشية ولذلك تُسمى *العضيات الغشائية*. وهذه تشمل ا
لنواة، الميتوكوندريا، الجسيمات الحالة، البيروكسيسومات، الشبكة الإ
ندوبلازمية، ومركب جولجى. العضيات التى لا تحتوى على أغشية تش
مل الريبوسومات، البروتياسومات، المريكزات، الأجسام القاعدية.

النواة

النواة)الشكل 3.26(هى عادة أكبر عضية والوحيدة التى يمكن
رؤيتها بوضوح بالمجهر الضوئى. تحتوى على كروموسومات الخلية
وبالتالى فهى مركز التحكم الجينى فى نشاط الخلية. عادة ما تكون
كروية إلى بيضاوية الشكل ويبلغ قطرها حوالى 5 ميكرومتر. معظم
الخلايا تحتوى على نواة واحدة، لكن هناك استثناءات.
خلايا الدم الحمراء الناضجة لا تحتوى على نواة؛ فهى عديمة النواة. بعض أنواع ا
لخلايا متعددة النوى. العديد من خلايا الكبد، والمثانة البولية، والقلب تحتوى ع
لى نواتين؛ خلايا تذويب العظام المسماة بأوستيوكلاست تحتوى على ما يصل إ
لى 50؛ وخلية عضلية هيكلية واحدة يمكن أن تحتوى على آلاف النوى.
الشكل 3.27 يوضح تفاصيل بنية النواة. النواة محاطة بغشاء مزد
وج يسمى الغلاف النووى. الغلاف مثقوب بمسام نووية تتكون من ح
لقة بروتينات تُسمى مركب المسام النووية. هذه البروتينات تنظم حر
كة الجزيئات عبر الغلاف وتعمل كمسامير تثبت طبقتى الغشاء معًا.
تمر مئات الجزيئات عبر المسام النووية كل دقيقة. المواد الداخلة إلى ا
لنواة تشمل المواد الخام لتخليق DNA وRNA، والإنزيمات التى تصنع
فى السيتوبلازم لكنها تعمل فى النواة، والهرمونات والرسائل الكيميا
ئية الأخرى التى تنشط جينات معينة. أما فى الاتجاه المعاكس، فإن R
NA يُصنع فى النواة لكنه يخرج لأداء وظيفته فى ال
سيتوبلازم.

فورًا داخل الغلاف النووى توجد منطقة ضيقة لكنها كثيفة الألياف
تُسمى الصفيحة النووية، تتكون من شبكة من الخيوط المتوسطة.
تدعم الغلاف النووى والمسام، وتوفر نقاط تثبيت وتنظيم للكروموسوم
ات داخل النواة، وتلعب دورًا فى تنظيم تكرار DNA ودورة حياة الخلية.
الاختلالات فى بنية أو وظيفة هذه الصفيحة مرتبطة ببعض الأمراض ا
لوراثية والموت المبكر للخلايا.

المادة فى النواة تُسمى النيوكليوبلازم. هذا
يشمل الكروماتين[33])كرُو-ما-تين(—مادة خيطية دقيقة
مكونة من الحمض النووى والبروتين—وواحد أو أكثر من المناطق ذات الصبغة الداكنة

[33] *كرومات* = ملون؛ *فى* = مادة

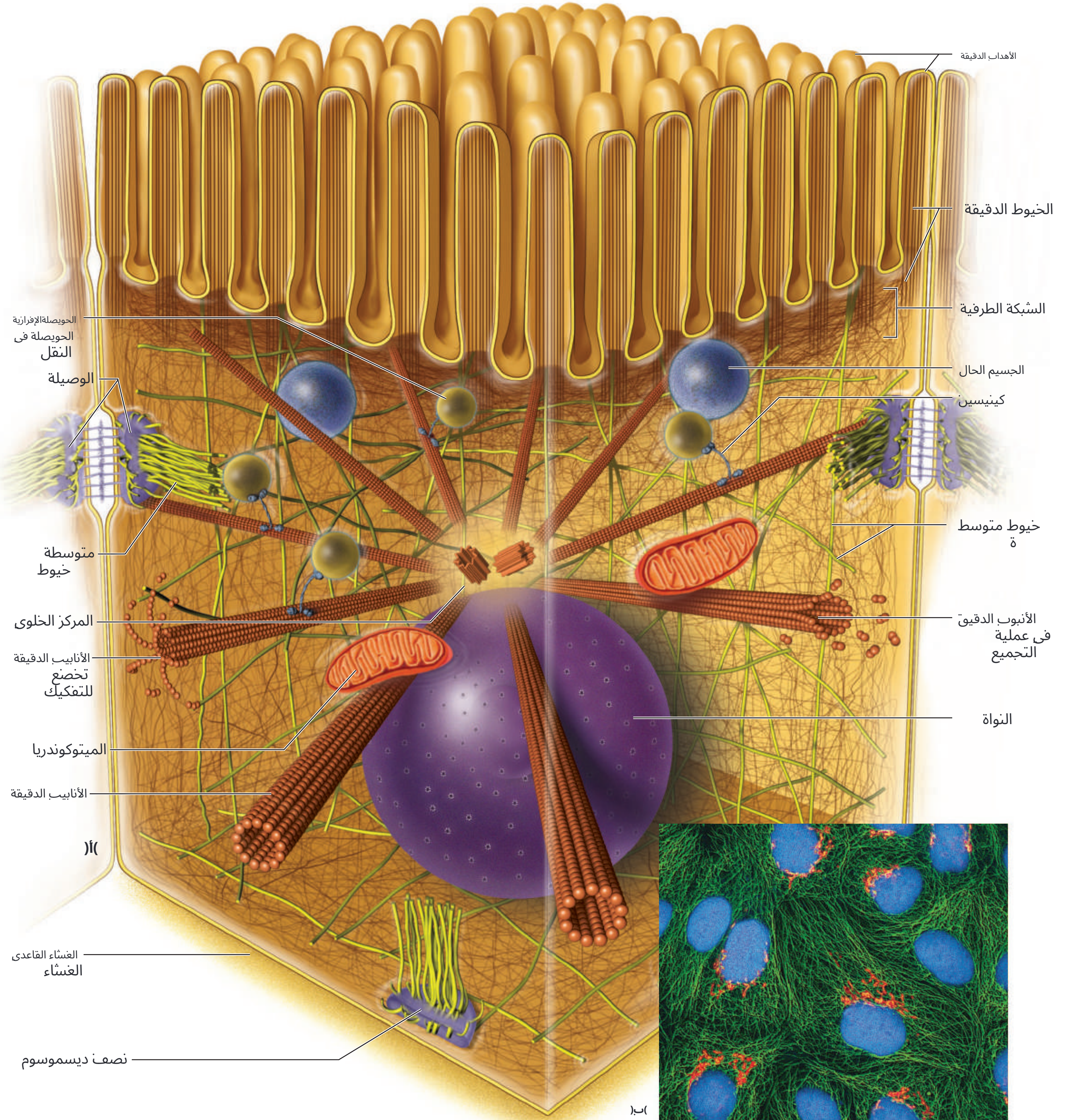
3.4a السيتوسول والهيكل الخلوى

السيتوسول هو محلول مائى واضح ولزج يغمر الهيكل الخلوى والعض
يات. يحتوى على إنزيمات وبروتينات أخرى وأحماض أمينية وATP وإ
لكتروليتات وأيونات عضوية وغير عضوية متنوعة، بالإضافة إلى الأك
سجين وثانى أكسيد الكربون والنفايات الأيضية. وهو موقع تحلل الجلو
كوز)glycolysis(والتخمير اللاهوائى ومعظم تخليق البروتين.
الهيكل الخلوى هو شبكة من خيوط وأسطوانات بروتينية تدعم ال
خلية هيكليًا، وتحدد شكلها، وتنظم محتوياتها، وتوجه حركة المواد داخ
ل الخلية، وتساهم فى حركة الخلية ككل. يشكل دعامة كثيفة فى الس
يتوبلازم)الشكل 3.24(. وهو متصل ببروتينات عابرة للغشاء فى غ
شاء البلازما، وهذه بدورها متصلة بألياف بروتينية خارج الخلية، مما ى
خلق استمرارية هيكلية قوية من المادة خارج الخلية إلى السيتوبلازم.
ترتبط عناصر الهيكل الخلوى حتى بالكروموسومات فى النواة، مما يم
كن من نقل التوتر الفيزيائى على الخلية لتحريك محتويات النواة، وتح
فيز الوظيفة الجينية ميكانيكيًا، والتأثير على توقيت انقسام الخلية بال
نسبة لحجمها.

يتكون الهيكل الخلوى من الخيوط الدقيقة، والخيوط المتوسطة،
والأنابيب الدقيقة. إذا اعتبرت الخيوط المتوسطة كالعصى الصلبة للم
عكرونة غير المطبوخة، فيمكنك، بالمقارنة، اعتبار الخيوط الدقيقة كمع
كرونة شعر الملائكة الرقيقة والأنابيب الدقيقة كمعكرونة البينى الأنبو
بية.
الخيوط الدقيقة)الخيوط الرقيقة(يبلغ سمكها حوالى 6 نانومتر و
تتكون من بروتين *الأكتين*. وهى منتشرة فى جميع أنحاء الخلية لكنها
تتركز بشكل خاص فى حصيرة ليفية تسمى الشبكة النهائية)هيكل ا
لغشاء(على الجانب السيتوبلازمى من غشاء البلازما. تنتشر الفسفولى
بيدات فى غشاء البلازما فوق الشبكة النهائية مثل الزبدة على شريحة
خبز. توفر الشبكة، مثل الخبز، دعمًا ماديًا، فى حين توفر الدهون، مثل
الزبدة، حاجز نفاذية. يُعتقد أنه بدون دعم الشبكة النهائية، ستتفكك ا
لفسفوليبيدات إلى قطرات صغيرة ولن يحافظ غشاء البلازما على تما
سكه. كما ذُكر سابقًا، تشكل خيوط الأكتين الدقيقة أيضًا النوى الداعم
ة للزغابات الدقيقة وتلعب دورًا فى حركة الخلية. من خلال دورها فى
حركة الخلية، يلعب الأكتين دورًا حيويًا فى التطور الجنينى، وانقباض ا
لعضلات، ووظيفة الجهاز المناعى، وشفاء الجروح، وانتشار السرطان،
وغيرها من العمليات التى تنطوى على هجرة الخلايا.

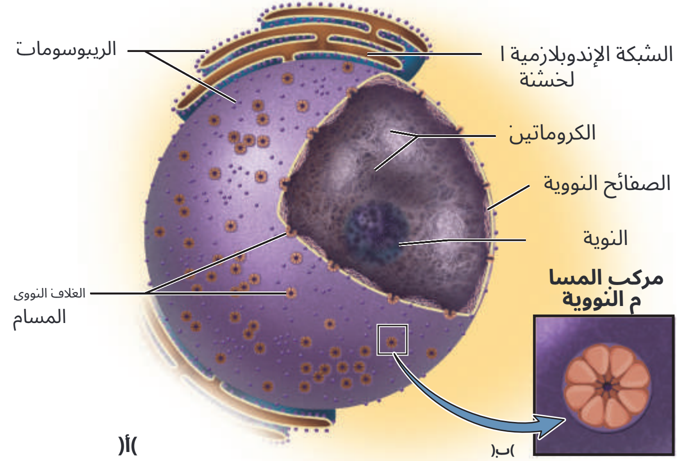
الخيوط المتوسطة)بسمك 8–10 نانومتر(أكثر سمكًا وصلابة من
الخيوط الدقيقة. تعطى الخلية شكلها، وتقاوم الإجهاد، وتشكل وصلا
ت تربط الخلايا بجيرانها. فى خلايا البشرة، تتكون من البروتين القوى
الكيراتين وتشغل معظم السيتوبلازم. وهى مسؤولة عن قوة الشعر وا
لأظافر.

الأنابيب الدقيقة)قطرها 25 نانومتر(هى أسطوانات مكونة من
13 خيطًا متوازيًا يُسمى *البروتوفيلامينتات*. كل بروتوفيلامينت هو
سلسلة طويلة من البروتينات الكروية تُسمى *التوبولين*)الشكل 3.25
(. تنبعث الأنابيب الدقيقة من منطقة فى الخلية تُسمى *المريكز*. تق
وم بتثبيت العضيات فى مكانها، وتشكل حزمًا تحافظ على شكل الخ
لية وصلابتها، وتعمل كمسارات أحادية السكة للإنزيمات الحركية التى
تحمل العضيات والجزيئات الكبيرة إلى وجهات محددة داخل الخلية.
تشكل الأنابيب الدقيقة المحاور المحورية للأهداب والأسواط وتتحمل
مسؤولية حركاتها الإيقاعية، كما تشكل المغزل الانقسامى الذى يوجه
حركة الكروموسومات أثناء انقسام الخلية.
الأنابيب الدقيقة ليست هياكل دائمة. فهى تظهر وتختفى
لحظة بلحظة مع تجميع جزيئات التوبولين لتكوين أنبوب ثم



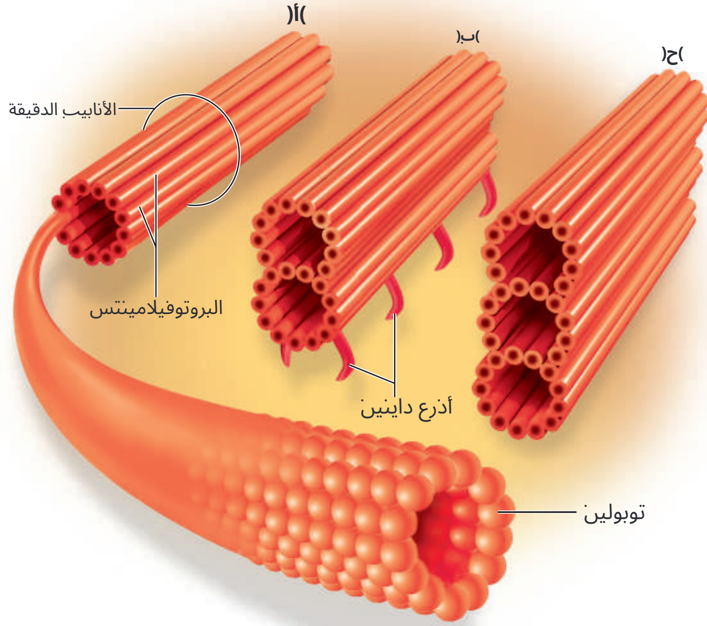
الشكل 3.24 الهيكل الخلوي.)أ(مكونات الهيكل الخلوي. تم عرض عدد قليل من العض
يات لتسليط الضوء على الهيكل الخلوي.)ب(خلايا سرطان هيلا المزروعة ملطخة بصبغات
فلورية ومشاهدة بواسطة مجهر ضوئي فلوري لإظهار الأنابيب الدقيقة)باللون الأخضر(، مجمع
ات جولجي)باللون البرتقالي(، والنوى)باللون الأزرق(.

ب: المعاهد الوطنية للصحة)NIH/USHHS/)NIH



الشكل 3.27 هيكل النواة.)أ(عرض مقطعي يُظهر سطح النواة ومحتويات السائل النووي.)ب(تفاصيل مركب المسام النووية.

لماذا يجب أن تكون هذه المسام النووية أكبر في القطر من القنوات في غشاء البلازما للخلية؟)انظر الجدول 3.1(.

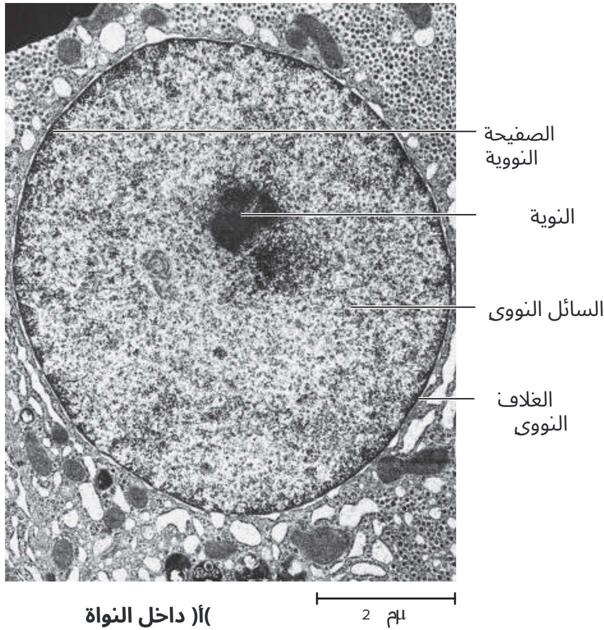


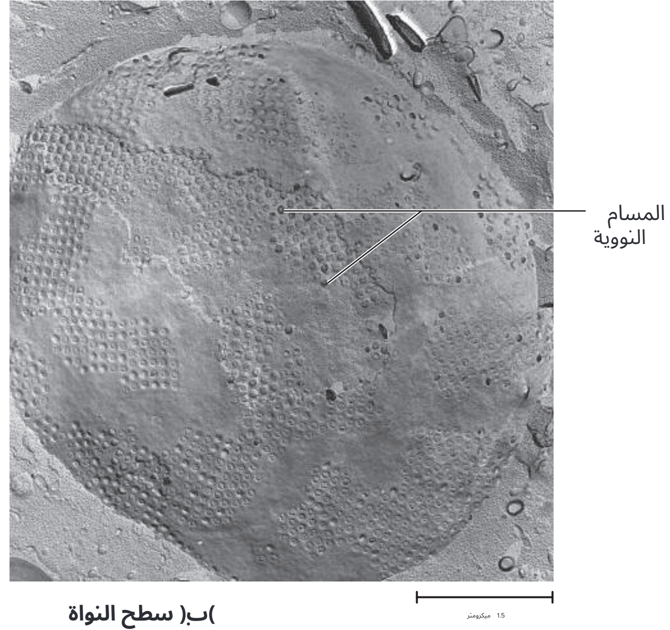
الشكل 3.25 الميكروتيوبات.)أ(يتكون الميكروتيوب من 13 بروتوفيلامنت . كل بروتوفيلامنت هو ترتيب حلزوني لبروتينات كروية تُسمى التوبولين.) ب(أحد أزواج الميكروتيوب التسعة التي تشكل الأكسونيمات للأهداب وا لأسواط، مع بروتين المحرك داينين المرفق.)ح(أحد الثلاثيات التسعة للميكروتيوب التي تشكل المركزية.

كتل تُسمى النوية)مفردها، النوية(، حيث تُنتج الريبوسومات. يتم وصف الوظيفة الوراثية للنواة في الفصل التالي.

الشبكة الإندوبلازمية

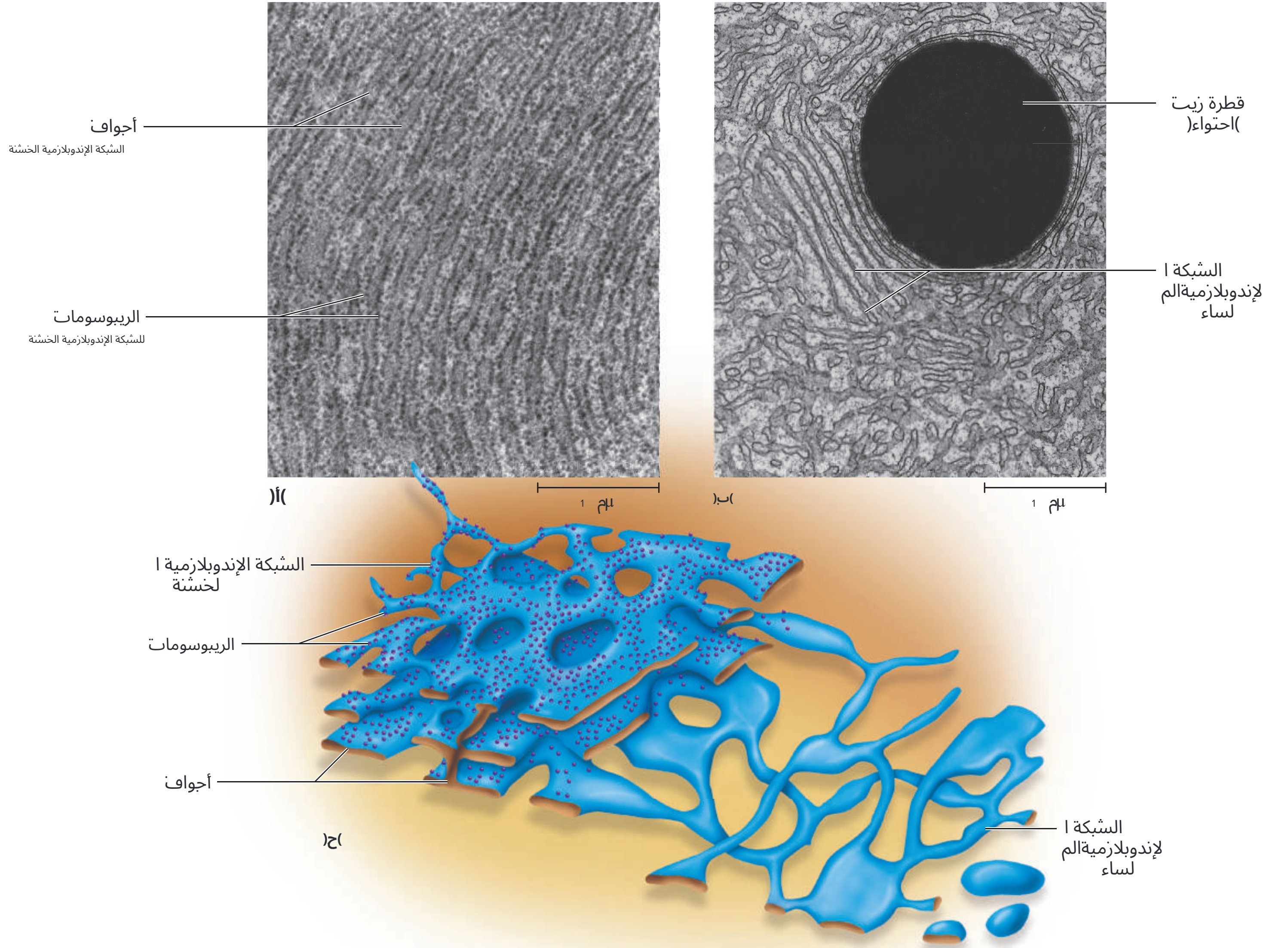
الشبكة الإندوبلازمية)ER(تعني حرفيًا "شبكة صغيرة داخل السيتوبلازم". إنها نظام من القنوات المترابطة





الشكل 3.26 النواة كما تُرى بالمجهر الإلكتروني. تم التقاط هذه الصور المجهرية باستخدام طرق TEM مختلفة لإظهار التركيب الداخلي للنواة وسطح الغلاف النووي.)أ(داخل النواة.)ب(سطح النواة، يظهر تجمعات من المسام النووية.

أ: ريتشارد تشاو؛ ب: ©E.G. Pollock



الشكل ٣.٨٢ الشبكة الإندوبلازمية)ER(.)أ(الشبكة الإندوبلازمية الخشنة.)ب(الشبكة الإندوبلازمية الملساء واحتواء)قطرة زيت(.)ج(تركيب الشبكة الإندوبلازم ية، مع مناطق خشنة وملساء.

أ: خوسيه لويس كالفو/Shutterstock؛ ب: دون فوسيت/Science Source

تقوم الشبكة الإندوبلازمية بتخليق الستيرويدات والدهون الأخرى، وتزيل السموم من الكحول والأدوية الأخرى، وتصنع تقريبًا جميع أغش ية الخلية. تنتج الشبكة الإندوبلازمية الخشنة الفسفوليبيدات والبروتي نات الخاصة بغشاء البلازما وتخليق البروتينات التي يتم إفرازها من ال خلية أو تعبئتها في العضيات مثل الليسوسومات. تكون الشبكة الإند وبلازمية الخشنة أكثر وفرة في الخلايا التي تصنع كميات كبيرة من ال بروتين، مثل الخلايا المنتجة للأجسام المضادة وخلايا الغدد الهضمية. في مثل هذه الخلايا، غالبًا ما تكون الشبكة الإندوبلازمية أكبر عضية ع لى الإطلاق، على الرغم من أنها غير مرئية بالمجهر الضوئي)LM(لأن أ غشيتها الرقيقة والمتقاربة تتجاوز حد دقة المجهر الضوئي.

معظم الخلايا تحتوي فقط على شبكة إندوبلازمية ملساء قليلة، لكنها تكون وفيرة نسبيًا في الخلايا التي تشارك بشكل مكثف في إزالة السموم، مثل خلايا الكبد والكلى. يؤدي التعاطي طويل الأمد للكحول والباربيتورات والأدوية الأخرى إلى تحمل جزئي بسبب الشبكة الإندوبلازمية الملساء

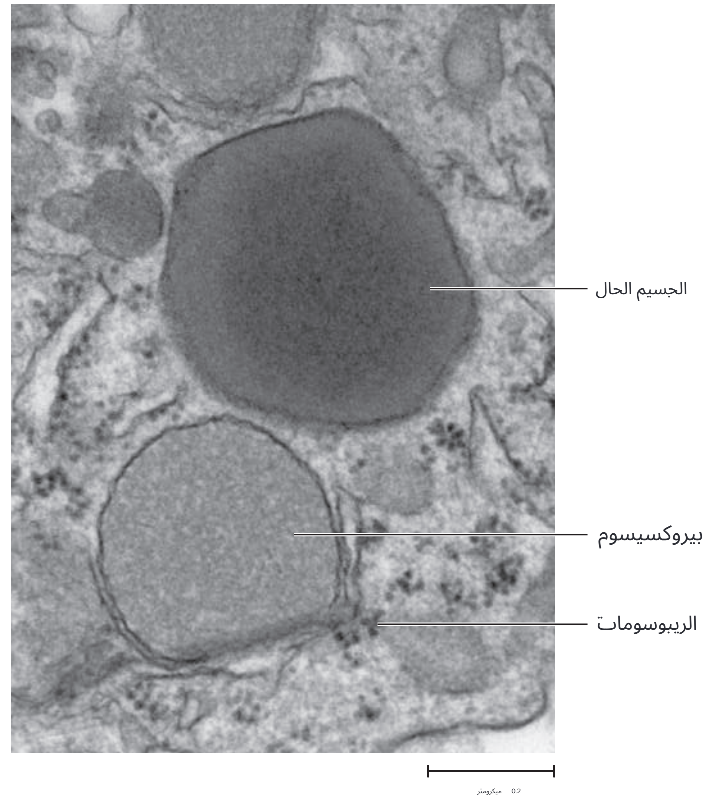
تُسمى الحويصلات المحاطة بغشاء وحيد[34])الشكل 3.28(. في الم ناطق المعروفة باسم الشبكة الإندوبلازمية الخشنة، تكون الحويصلا ت أكياسًا مسطحة ومتوازية معطاة بحبيبات تُسمى *الريبوسومات*. ا لحويصلات المجاورة متصلة بجسور لتكوين مساحة داخلية مستمرة وا حدة. الشبكة الإندوبلازمية الخشنة متصلة بالغشاء الخارجي للغلاف ا لنووي، ويعتبرها بعض الخبراء امتدادًا معدلاً له. في المناطق المعرو فة باسم الشبكة الإندوبلازمية الملساء، تكون الحويصلات أكثر أنبوبية ، وتتفرع بشكل أوسع، وتفتقر إلى الريبوسومات. حويصلات الشبكة ا لإندوبلازمية الملساء متصلة بتلك الخاصة بالشبكة الإندوبلازمية الخ شنة، لذا فهما جزءان مختلفان من نفس الشبكة.

[34]*حويصلة* = خزان

يستقبل البروتينات التى تم تصنيعها حديثًا من الشبكة الإندوبلازمية ا لخشنة. يقوم بفرزها، ويقطع ويلحم بعضها، ويضيف الكربوهيدرات إل ى بعضها. وأخيرًا، تتحلل الحويصلة الأكثر نضجًا التى تحتوى على المن تج الخلوى النهائى إلى حويصلات جولجى محاطة بغشاء، والتى تكون وفيرة فى محيط مجمع جولجى.
بعض الحويصلات تتحول إلى *الجسيمات الحالة*، العضية التى سيتم مناقشتها لاحقًا؛ وبعضها يهاجر إلى غشاء البلازما ويلتحم به، مساهمًا فى إضافة بروتينات وفوسفوليبيدات جديدة إلى الغشاء؛ وبعضها يص بح حويصلات إفرازية تخزن منتجًا خلويًا، مثل حليب الثدى أو الإنزيما ت الهضمية، للإفراز عنه لاحقًا. أدوار الشبكة الإندوبلازمية، والريبوسو مات، ومجمع جولجى فى تخليق البروتين والإفراز مفصلة فى الفصل 4.

الجسيمات الحالة

الجسيم الحالة[36] (LY-so-some))الشكل 3.30(هى حزمة من الإنزيمات محاط ة بغشاء. على الرغم من أنها غالبًا ما تكون دائرية أو بيضاوية، إلا أن الجسيمات ا لحالة تختلف فى الشكل. عند رؤيتها بالمجهر الإلكترونى النافذ)TEM(، غالبًا ما تظهر محتويات رمادية داكنة خالية من البنية، ولكن أحيانًا تظهر بلورات أو طبقا ت متوازية من البروتين. تم تحديد ما لا يقل عن 50 إنزيمًا للجسيمات الحالة.
تقوم بتحليل البروتينات، والأحماض النووية، والمعقدات



الشكل 3.30 الليسوسوم والبيروكسيسوم. كل منهما محاط بغشاء مشابه لغشاء البلازما، ولكنهما يحتويان على إنزيمات مختلفة بوظائف مختلفة.

خدمات أبحاث المجهر الإلكترونى، جامعة نيوكاسل

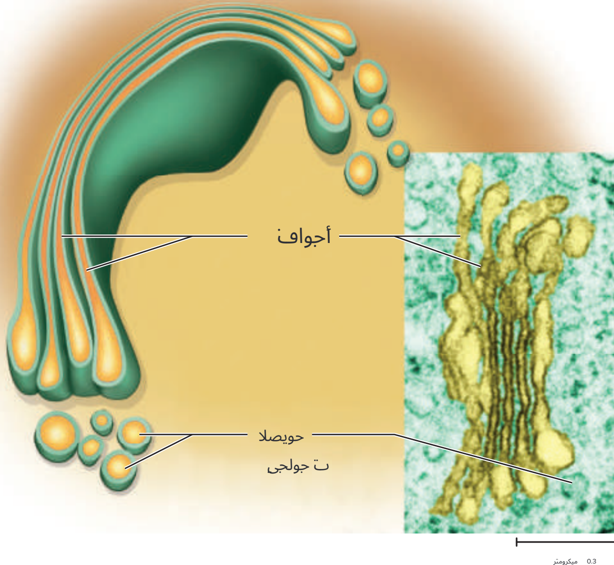
يتكاثر ويزيل السموم من الأدوية بشكل أسرع. الشبكة الإندوبلازمية الملساء متوفرة أيضًا بكثرة فى خلايا الخصيتين والمبيضين التى تُنتج الهرمونات الستيرويدية. تحتوى العضلات الهيكلية والقلبية على شبكات واسعة من الشبكة الإندوبلازمية الملساء التى تخزن الكالسيوم وتفرجه لتحفيز انقباض العضلات.

الريبوسومات

الريبوسومات هى حبيبات صغيرة من البروتين والحمض النووى الريبوزى)R NA(توجد فى النواة، وفى السيتوسول، وفى الميتوكوندر يا، وعلى الأسطح الخارجية للشبكة الإندوبلازمية الخشنة وغلاف النواة. تقوم "بقراءة" الرسائل الوراثية المشفرة)الحمض النووى الريبوزى الرسول(وتجميع الأحماض الأمينية إلى بروتينات محددة بواسطة الشفرة. الريبوسومات غير ا لمرتبطة المنتشرة فى جميع أنحاء السيتوبلازم تصنع الإنزيمات وبروتينات أخ رى للاستخدام داخل الخلية. الريبوسومات الحرة داخل النواة والميتوكوندريا تصنع بروتينات للاستخدام فى تلك العضيات. ترتبط الريبوسومات بالشبكة ا لإندوبلازمية الخشنة عندما تصنع بروتينات مخصصة للتعبئة فى الجسيمات الحالة أو ليتم إفرازها من الخلية، مثل الإنزيمات الهضمية، والأجسام المضاد ة، وبعض الهرمونات.

مجمع جولجى

مجمع جولجى[35])GOAL-jee(هو نظام صغير من الحويصلات التى تصنع الكربوهيدرات وتصنع اللمسات الأخيرة على تخليق البروتي نات والجليكوبروتينات. يشبه المجمع كومة من خبز البيتا. يتكون من عدد قليل فقط من الحويصلات، مفصولة قليلاً عن بعضها البعض؛ ك ل حويصلة هى كيس مسطح، وغالبًا ما يكون منحنيًا مع حواف منتفخ ة)الشكل 3.29(. مجمع جولجى



الشكل 3.29 مجمع جولجى.

صور تاريخ العلوم/صور ألامى

[٦٣] ليسو = تفكيك، إذابة؛ بعض = جسم

[٥٣] كاميلو جولجى)١٨٤٣-١٩٢٦(، عالم الأنسجة الإيطالى

الكربوهيدرات، الفسفوليبيدات، والركائز الأخرى. في الكبد، تقوم اللي
سوسومات بتحليل الجليكوجين لإطلاق الجلوكوز في مجرى الدم. تس
تخدم خلايا الدم البيضاء الليسوسومات لهضم البكتيريا المبتلعة. كما
تقوم الليسوسومات بهضم والتخلص من العضيات الزائدة أو غير الح
يوية ومكونات الخلية الأخرى لإعادة تدوير مغذياتها لتلبية احتياجات ا
لخلية الأكثر أهمية؛ وتسمى هذه العملية الالتهام الذاتي.
الالتهام الذاتي [37])aw-TOFF-uh-jee(. تساعد الليسوسومات أي
ضًا في عملية "انتحار الخلية". بعض الخلايا مخصصة لأداء وظيفة معين
ة ثم تدمر نفسها. على سبيل المثال، يزن الرحم حوالي 900 جرام في الح
مل الكامل وينكمش إلى 60 جرامًا خلال 5 أو 6 أسابيع بعد الولادة. يحد
ث هذا الانكماش بسبب التحلل الذاتي [38]، وهو هضم الخلايا الزائدة بوا
سطة إنزيمات الليسوسوم الخاصة بها.

البيروكسيسومات

تشبه البيروكسيسومات)الشكل 3.30(الليسوسومات لكنها تحتوي ع
لى إنزيمات مختلفة. يتم إنتاجها من خلال التعاون بين الشبكة الإندو
بلازمية والميتوكندريا ومن خلال انقسام البيروكسيسومات الموجودة
مسبقًا. وظيفتها العامة هي استخدام الأكسجين الجزيئي)O_2(لأكسدة
الجزيئات العضوية. تنتج هذه التفاعلات بيروكسيد الهيدروجين)H_2O_2
—ومن هنا جاء اسم العضية. ثم يُستخدم H_2O_2 لأكسدة جزيئات أخ
رى، ويتم تفكيك الفائض إلى ماء وأكسجين بواسطة إنزيم يسمى *الكا
تالاز.*
توجد البيروكسيسومات في جميع الخلايا تقريبًا لكنها وفيرة بشكل خا
ص في خلايا الكبد والكلى. تقوم بتحييد الجذور الحرة وإزالة السموم من ال
كحول، والأدوية الأخرى، ومجموعة متنوعة من السموم المحمولة في الدم.
كما تقوم البيروكسيسومات بتفكيك الأحماض الدهنية إلى شظايا مكونة م
ن ذرتين كربون تستخدمها الميتوكندريا كمصدر للطاقة لتخليق ATP.

البروتيازومات

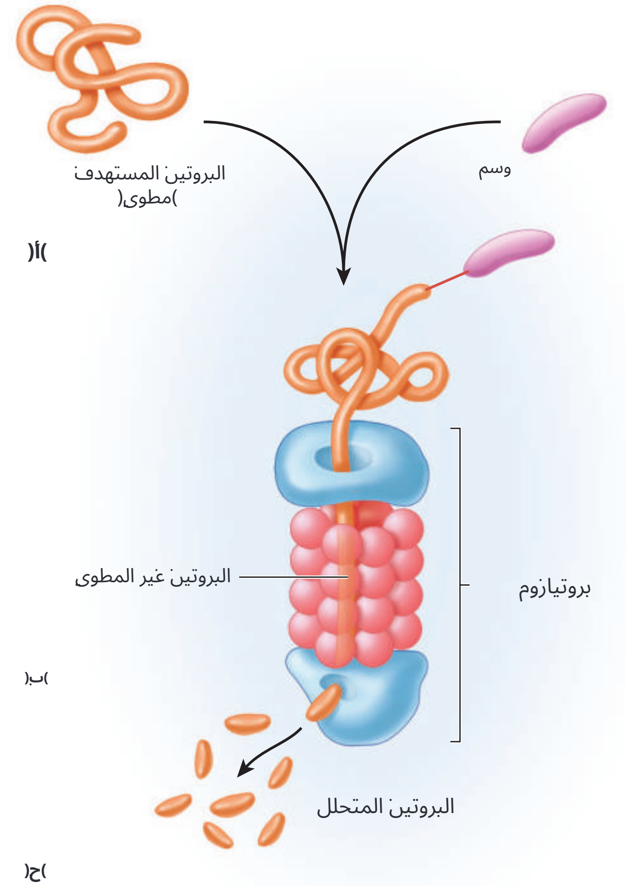
يجب على الخلايا التحكم بدقة في تركيز البروتينات في السيتوبلازم. لذ
لك، لا يجب عليها فقط تصنيع بروتينات جديدة، بل يجب أيضًا التخل
ص من تلك التي لم تعد ضرورية. تحتاج الخلايا أيضًا إلى التخلص من
البروتينات التالفة وغير الوظيفية والبروتينات الأجنبية التي تدخلها م
ثل هذه الأحداث كالإصابة الفيروسية. لقد رأينا أن تخليق البروتين هو
مجال الريبوسومات؛ أما التخلص من البروتين فهو وظيفة عضية بس
يطة التركيب تسمى البروتيازوم.

البروتيازومات هي مجمعات أسطوانية مجوفة من البروتينات تق
ع في كل من السيتوبلازم والنواة)الشكل 3.31(. تقوم الخلية بوضع ع
لامة على البروتينات غير المرغوب فيها لتدميرها وتنقلها إلى البروتياز
وم. أثناء مرور البروتين غير المرغوب فيه عبر نواة هذه العضية، تقوم إ
نزيمات البروتيازوم بفك طيها وتحليلها إلى ببتيدات قصيرة وأحماض
أمينية حرة. يمكن استخدام هذه الأحماض الأمينية لتخليق بروتينات
جديدة أو تقديمها إلى الجهاز المناعي لاتخاذ إجراء. تقوم البروتيازومات
بتحليل أكثر من 80% من بروتينات الخلية.

الميتوكوندريا

الميتوكوندريا [39])MY-toe-CON-dree-uh(مفرد، *mitochon-dri
on*(هي عضيات متخصصة في تخليق ATP. لها أشكال متنوعة—كرو
ية، على شكل قضيب، على شكل كلية، أو

[37] *auto* = ذاتي؛ *phagy* = أكل
[38] *auto* = ذاتي؛ *lysis* = تحلل
[39] *mito* = خيط؛ *chondr* = حبيبة



الشكل ١٣.٣ تحلل البروتين بواسطة البروتيازوم.
)أ(يتم وسم البروتين غير المرغوب فيه والمستهدف للتدمير ونقله إلى ال
بروتيازوم.)ب(أثناء مرور البروتين عبر نواة البروتيازوم، يتم فك طيه و
تقسيمه إلى ببتيدات صغيرة وأحماض أمينية حرة.)ح(تُطلق شظايا البرو
تين المتحللة من الطرف الآخر للبروتيازوم.

خيطية الشكل)الشكل 3.32(. هي متحركة للغاية، تتحرك وتتغير ش
كلها باستمرار. أحيانًا تخضع للاندماج)انضمام ميتوكوندريتين لتصبح
واحدة(والانقسام)انقسام ميتوكوندريون واحد إلى اثنين(. مثل النواة،
يحيط بالميتوكوندريون غشاء مزدوج. الغشاء الداخلي عادةً ما يحتوي
على طيات تُسمى **cristae** [40])CRIS-tee(، التي تبرز كرفوف
عبر العضية. الفراغ بين الطيات، المسمى matrix ، يحتوي على الري
بوسومات؛ الإنزيمات المستخدمة في تخليق ATP؛ وبعض جزيئات D
NA دائرية صغيرة تُسمى *mitochondrial DNA (mtDNA).*

الوظيفة الرئيسية للميتوكوندريا هي العمل كـ "محطات الطاقة"
للخلية. الطاقة لا تُصنع هنا، بل تُستخرج من المركبات العضوية وتُنقل
إلى ATP، بشكل رئيسي بواسطة الإنزيمات الموجودة على الطيات. د
ور الميتوكوندريا في تخليق ATP موضح بالتفصيل في الفصل 26. كم
ا تلعب ميتوكوندريا الكبد دورًا في إزالة سمية الأمونيا)منتج نفايات م
ن استقلاب البروتين(وفي تحويل الأحماض الأمينية وجزيئات عضوية
أخرى إلى الجلوكوز. بعض الجوانب التطورية والسريرية للميتوكوندريا
نوقشت في نظرة أعمق 3.3.

[40] *crista* = نتوء

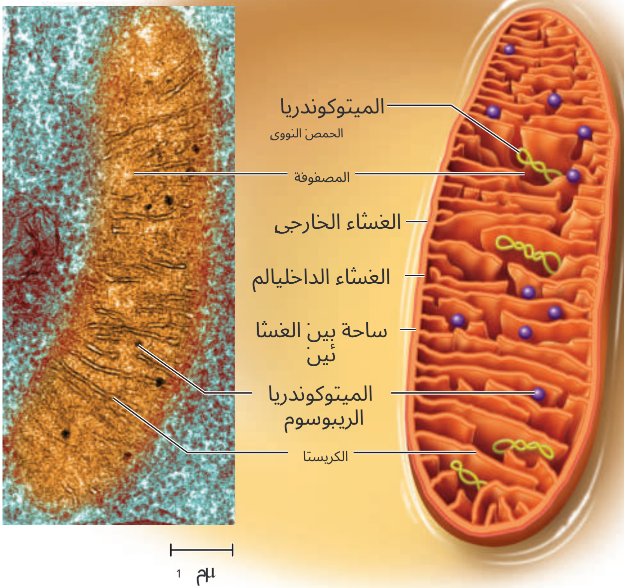
الأجسام المركزية

السنترول)SEN-tree-ole(هو تجميع أسطوانى قصير من الأنابيب الدقيقة، مرتبة فى تسع مجموعات، كل مجموعة تحتوى على ثلاثة أنابيب دقيقة)الشكل 3.33(. بالقرب من النواة، تحتوى معظم الخلايا على بقعة ص غيرة وواضحة من السيتوبلازم تُسمى المريكز [41] تحتوى على زوج من ا لمريكزات المتعامدة)انظر الشكل 3.24(. تلعب المريكزات دورًا فى ا نقسام الخلية الموضح فى الفصل التالى. كل جسم قاعدى للهدب أو ا لسوط هو مريكز واحد موجه بشكل عمودى على غشاء البلازما. تنشأ ا لأجسام القاعدية فى مركز تنظيم المريكزات وتهاجر إلى غشاء البلازما. ثم يتم إطالة أنبوبين دقيقين من كل ثلاثى لتشكيل تسعة أزواج من ا لأنابيب الدقيقة المحيطية فى المحور. يمكن للهدب أن ينمو إلى طول ه الكامل فى أقل من ساعة.

3.4ح المحتويات

المحتويات هى من نوعين: منتجات خلوية متراكمة مثل حبيبات الح ليكوجين، الأصباغ، وقطرات الزيت)انظر الشكل 3.28ب(؛ وأجسام غر يبة مثل الفيروسات، البكتيريا، وجزيئات الغبار وغيرها من الحطام ال تى تبتلعها الخلية. لا تُحاط المحتويات أبدًا بغشاء، وعلى عكس العض يات والهيكل الخلوى، فهى ليست ضرورية لبقاء الخلية.

[41] مُركز = مركزى؛ بعص = جسم



الشكل 3.32 الميتوكوندريا.

أ: سكوت كامازين/صورة من ألامى ستوك؛

نظرة أعمق 3.3

الطب التطورى

الميتوكوندريا—التطور والأهمية السريرية

من المؤكد تقريبًا أن الميتوكوندريا تطورت من بكتيريا غزت خلية بدائية أخرى، ونح ت فى سيتوبلازمها، وأصبحت مقيمة دائمة. تشير الأغشية المزدوجة حول الميتو كوندريا إلى أن البكتيريا الأصلية وفرت الغشاء الداخلى، وقام الفاجوسوم الخاص بالخلية المضيفة بتوفير الغشاء الخارجى عندما تم ابتلاع البكتيريا.

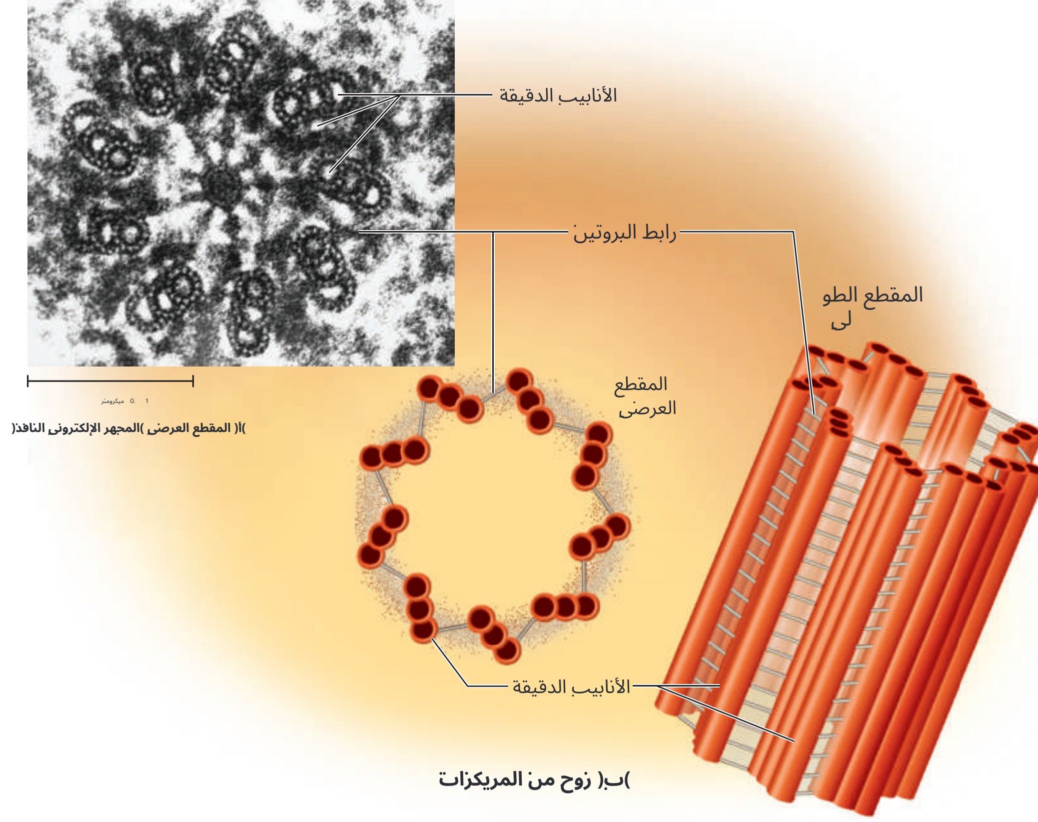
تُظهر عدة مقارنات العلاقة الظاهرة بين الميتوكوندريا والبكتيريا. ريبوسوماتها تشبه ريبوسومات البكتيريا أكثر من ريبوسومات الخلايا حقيقية النواة)ذات النواة(. الحمض النووى الميتوكوندرى)mtDNA(هو جزىء صغير ودائرى يشبه الحمض النووى الدائرى للبكتيريا، وليس الحمض النووى الخطى لنواة الخلية. يتكاثر بشكل مستقل عن الحمض النووى النووى. يشفر الحمض النووى الميتوكوندرى بعض الإ نزيمات المستخدمة فى تخليق ATP. يتكون من 16569 زوج قاعدة)موضح فى ا لفصل 4(، ويشمل 37 جينًا، مقارنةً بأكثر من 3 مليارات زوج قاعدة وأكثر من 220 00 جين فى الحمض النووى النووى.

عندما يقوم الحيوان المنوى بتخصيب البويضة، يتم تدمير أى ميتوكوندريا يُدخ لها الحيوان المنوى ولا يتم تمرير سوى تلك التى توفرها البويضة إلى الجنين النام ى. لذلك، يتم وراثة DNA الميتوكوندريا حصريًا من الأم. بينما يتم إعادة ترتيب D NA النووى فى كل جيل عن طريق التكاثر الجنسى، يطل l DNA لميتوكوندريا دون تغيير إلا عن طريق الطفرات العشوائية. وبسبب المعدل المعرو ف لهذه الطفرات، يمكن لعلماء الأحياء والأنثروبولوجيا استخدام DNA الميتوكوندر يا كـ "ساعة جزيئية" لتتبع السلالات التطورية لدى البشر والأنواع الأخرى. كمية الاخ تلاف بين DNA الميتوكوندريا للأنواع ذات الصلة توفر سجلًا للمدة الزمنية التى مر ت منذ تفرعها عن آخر سلف مشترك. وقد حصل علماء الأنثروبولوجيا على أدلة م ن DNA الميتوكوندريا تفيد بأنه من بين جميع الإناث اللواتى عشن فى أفريقيا ق بل 200,000 سنة، تركت واحدة فقط خط نسلى أنثوى غير منقطع حتى اليوم. وم ع ذلك، قد يكون لدى إناث أخريات من ذلك الوقت أحفاد أحياء اليوم من خلال الأ بناء والخط الذكرى اللاحق.)وبالمثل، يُعتقد أن جميع الذكور الأحياء اليوم هم

ينحدر من ذكر واحد عاش منذ حوالى 300,000 عام. تم تتبع ذلك ليس من خلال DNA الميتوكوندريا بالطبع، بل من خلال كروموسوم Y. كما تم ا ستخدام DNA الميتوكوندريا كدليل فى القانون الجنائى ولتحديد رفات الجنود الذ ين قُتلوا فى القتال. وقد استُخدم فى عام 2001 لتحديد رفات اللص الشهير جيس ى جيمس، الذى قُتل فى عام 1882.

الطفرات فى الحمض النووى الميتوكوندرى)mtDNA(مسؤولة عن العديد من الأمراض الوراثية النادرة والوفاة فى مرحلة الطفولة المبكرة. الأنسجة والأعضاء ال تى تتطلب أعلى مستويات من الطاقة هى الأكثر عرضة لخلل وظائف الميتوكوندر يا—مثل النسيج العصبى، القلب، الكلى، والعضلات الهيكلية.
اعتلال عضلات الميتوكوندريا هو مرض عضلى تنكسى تظهر فيه العضلة "أليا ف حمراء ممزقة"، وهى خلايا تحتوى على ميتوكوندريا غير طبيعية تصبغ باللون الأ حمر باستخدام صبغة نسيجية معينة. مرض آخر فى DNA الميتوكوندريا هو اعتلال العصب البصرى الوراثى ليبر)LHON(، وهو شكل من أشكال العمى يظهر عادة فى مرحلة الشباب نتيجة تلف العصب البصرى. متلازمة كيرنز-ساير)KSS(تشمل شلل عضلات العين، تنكس الشبكية، أمراض القلب، فقدان السمع، السكرى، و فشل الكلى. كما تم الإشارة إلى أن تلف DNA الميتوكوندريا قد يكون عاملاً محتم لاً فى مرض الزهايمر، مرض هنتنغتون، وأمراض تنكسية أخرى مرتبطة بالشيخوخ ة.

بعض النساء المعروفات بحمل طفرات فى الحمض النووى الميتوكوندرى يمكنهن الآن تجنب تمرير مثل هذه الأمراض إلى أطفالهن من خلال التلقيح الاصطناعى)IVF(مع علاج استبدال الميتوكوندريا)MRT(. تقنيات MRT معقدة ومتنوعة، لكن جوهرها هو توفير بويضة المريضة بميتوكوندريا صحية من متبرعة أخرى؛ تلقيح بويضة المستقبل بحيوانات منوية من الأب؛ وزرعها فى رحم المريضة. النتيجة الناجحة هى "طفل ذو ثلاثة آباء" لديه الحمض النووى النووى للأب، والحمض النووى النووى للأم البيولوجية، و الحمض النووى الميتوكوندرى للمتبرعة بالميتوكوندريا.



الشكل 3.33 المريكزات.)أ(صورة إلكترونية لمريكزة كما تُرى فى المقطع العرضى.)ب(زوج من المريكزات المتعامدة.

كيف يشبه المريكز المحور المركزى للرموس؟ وكيف يختلف عنه؟

أ: دون و. فوسيت/مصدر العلوم

بل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

22. ميز بين العضيات والاحتباسات. اذكر مثالين لكل منهما.

23. اذكر بإيجاز كيف يمكن التعرف على كل من مكونات الخلية التالية فى الصور المجهرية الإلكترونية: النواة، الميتوكوندريون، الليسوسوم، والسنترول. ما هى الوظيفة الأساسية لكل منها؟

24. ما هى العضيات الثلاث المشاركة فى تخليق البروتين؟

25. بأى طرق يختلف الشبكة الإندوبلازمية الخشنة عن الشبكة الإندوبلازمية الملساء؟

26. عرف السنترول، الأنابيب الدقيقة، الهيكل الخلوى، والمحور المركزى. كيف ترتبط هذه الهياكل ببعضها البعض؟

دراسة دليل

قيّم نتائج تعلمك

لاختبار معرفتك، ناقش المواضيع التالية مع شريك دراسة أو كتابة، ويفضل أن يكون ذلك من الذاكرة.

3.1 مفاهيم بنية الخلية

1. نطاق علم الخلايا
2. المبادئ الأساسية لنظرية الخلية
3. التسعة أشكال الشائعة للخلايا
4. نطاق حجم معظم الخلايا البشرية؛ بعض الطاقات القصوى خارج هذا النطاق؛ وبعض العوامل التى تحد من نمو الخلايا إلى حجم غير محدود
5. نوعا المجاهر الإلكترونية؛ لماذا قد حسّنا الفهم الحديث للخلايا؛ والتمييز بين التكبير والدقة فى المجهر
6. المكونات الهيكلية الأساسية للخلية
7. التمييز بين السائل داخل الخلية (السائل داخل الخلايا - ICF) والسائل خارج الخلية (السائل خارج الخلايا - ECF)

3.2 سطح الخلية

1. جزيئات غشاء البلازما وكيفية تنظيمها

دليل الدراسة

أي منها يتطلب ATP ويتوقف إذا لم يتوفر ATP، كما يحدث عند الوفاة

3.4 داخل الخلية

1. التمييز بين السيتوبلازم، السيتوسول، الهيكل الخلوي، العضيات، والاحتباسات؛ والأدوار العامة لكل منها في التنظيم الداخلي للخلية
2. الوظائف العامة للهيكل الخلوي والاختلافات بين الخيوط الدقيقة، الخيوط المتوسطة، والأنابيب الدقيقة
3. أي العضيات تعتبر غشائية ولماذا، وأي منها محاط بأغشية مفردة أو مزدوجة
4. تركيب ووظيفة النواة، خاصة الغلاف النووي والصفائح النووية
5. التركيب العام للشبكة الإندوبلازمية (ER)؛ النوعان من الشبكة الإندوبلازمية والاختلافات التركيبية والوظيفية بينهما
6. تركيب الريبوسومات، موقعها، ووظيفتها
7. هيكل ووظائف مجمع جولجي؛ أصل ومصير حويصلات جولجي
8. هياكل ووظائف الليسوسومات والبروكسيسومات، والتشابهات والاختلافات بينها
9. هيكل ووظيفة البروتيازومات
10. هيكل ووظيفة الميتوكوندريا
11. هياكل ووظائف السنترولات، السنترسوم، والأجسام القاعدية؛ وكيف ترتبط هذه ببعضها البعض
12. كيف تختلف المحتويات عن العضيات؛ أصول وأنواع المحتويات

5. الترشيح العكسي، مكان حدوثه في الجسم، والغرض الذي يخدمه
6. فيما يتعلق بالانتشار المائي، معنى *الضغط الاسموزي، الأسمولارية، التوترية، مولي أسمول لكل لتر (mOsm/L)*
7. التمييز بين المحاليل منخفضة التوتر، عالية التوتر، ومتساوية التوتر؛ تأثيراتها على الخلايا؛ وكيف يرتبط ذلك بعلاج السوائل الوريدية
8. كيف يختلف النقل الوسيط بواسطة الحامل عن أنواع النقل الأخرى، وأهمية التخصصية في هذه العملية
9. كيف يقتصر النقل الوسيط بواسطة الحامل على تشبع الحامل والحد الأقصى للنقل (T_m)
10. التمييز بين النقل الأحادي، النقل المتماثل، والنقل المعاكس؛ معاني النقل المشترك والنقل المضاد؛ وأمثلة على مكان كل منها في فسيولوجيا الإنسان
11. التشابهات والاختلافات بين الانتشار الميسر والنقل النشط
12. التمييز بين النقل النشط الأولي والثانوي
13. آلية وأدوار مضخة الصوديوم-البوتاسيوم (Na^+–K^+)
14. كيف يختلف النقل الحويصلي عن طرق النقل الأخرى عبر الغشاء؛ الفروق بين الالتقام الخلوي (الاندوسيتوز) والإفراز الخلوي (الإكسوسيتوز)؛ الأشكال المختلفة للالتقام الخلوي؛ وأمثلة على الأهمية الفسيولوجية لكل نوع من أنواع النقل الحويصلي
15. من بين آليات النقل السابقة، أي منها يتطلب غشاءً؛ وأي منها يتطلب غشاء البلازما؛ وأي منها يمكن أن يحدث أيضًا عبر أغشية صناعية؛

2. الأدوار المميزة للفوسفوليبيدات، والدهون السكرية، والكوليسترول، والبروتينات المتكاملة، والبروتينات المحيطة، والجليكوبروتينات في تركيب الغشاء
3. سبعة أدوار تلعبها بروتينات الغشاء
4. التمييز بين قنوات التسرب والقنوات ذات البوابات، وبين القنوات التي تفتح بواسطة الرابط، والقنوات التي تفتح بواسطة الجهد الكهربائي، والقنوات التي تفتح ميكانيكياً
5. وظيفة أنظمة الرسول الثاني المرتبطة بغشاء البلازما؛ الأدوار المحددة لمستقبلات الغشاء، وبروتينات G، وأدينيلات سيكلاز، وأدينوسين أحادي الفوسفات الحلقي (cAMP)، والكينازات في نظام الرسول الثاني cAMP
6. تركيب ووظائف الغليكوكاليكس
7. هيكل ووظائف الزغابات الدقيقة، وأين توجد
8. هيكل ووظائف الأهداب، وأين توجد
9. هيكل ووظيفة السوط البشري الوحيد
10. هيكل ووظيفة الأقدام الكاذبة

3.3 النقل عبر الغشاء

1. ماذا يعني القول بأن غشاء البلازما نفاذ انتقائي، ولماذا هذه الخاصية مهمة لبقاء الإنسان
2. الترشيح، أين يحدث في الجسم، ولماذا يعتمد على الضغط الهيدروستاتيكي
3. الانتشار البسيط، العوامل التي تحدد سرعته، وأمثلة على أهميته الفسيولوجية والسريرية
4. الاسموز، أمثلة على أهميته الفسيولوجية والسريرية، العوامل التي تحدد سرعته واتجاهه، ودور الأكوابورينات

▶ اختبار استرجاعك

الإجابات في الملحق أ

الابتلاع الخلوي السائل (البينوسيتوز).

ب. النقل الوسيط بواسطة الناقل.

ج. النقل النشط.

د. الانتشار الميسر.

هـ. الاسموز.

6. تشبه حوامل الغشاء الإنزيمات باستثناء أن الحوامل

أ. ليست بروتينات.

ب. لا تمتلك مواقع ارتباط.

ج. ليست انتقائية لجزيئات معينة.

د. تغير التكوين عند ارتباطها بجزيء مرتبط.

هـ. لا تغير كيميائيًا جزيئاتها المرتبطة.

أ. الانتشار الميسر

ب. الانتشار البسيط

ج. الترشيح

د. النقل النشط

هـ. الاسموز

4. الخلايا المتخصصة في امتصاص المواد من السائل خارج الخلية من المحتمل أن تظهر وفرة من

أ. الجسيمات الحالة

ب. الزغابات الدقيقة

ج. الميتوكوندريا.

د. الحويصلات الإفرازية.

هـ. الريبوسومات.

5. الأكوابورينات هي بروتينات عابرة للغشاء تُعزز

1. الهلام الواضح عديم الهيكل في الخلية هو

أ. النيوكليوبلازم.

ب. البروتوبلازم.

ج. السيتوبلازم.

د. الورم الجديد (نيوبلازم).

هـ. السيتوسول.

2. مضخة Na^+–K^+ هي

أ. بروتين طرفي.

ب. بروتين عابر للغشاء.

ج. بروتين G.

د. جليكوليبيد.

هـ. فوسفوليبيد.

3. أي من العمليات التالية يمكن أن تحدث *فقط* في غشاء البلازما لخلية حية؟

دراسة دليل

15. محلول مركز يسبب انكماش الخلية هو ______ إلى الخلية.

16. اندماح الحويصلة الإفرازية مع غشاء البلازما وإطلاق محتويات الحويصلة هو عملية تُسمى ______.

17. ______ هما عضيتان حبيبيتان ( ) مجمعات إنزيمية(تقومان، على التوالى، بتركيب وتحليل البروتينات.

18. يمكن لخلايا الكبد إزالة سموم الكحول باستخدام عضويتين وهما ______.

19. بوابة أيونية فى غشاء البلازما تفتح أو تغلق عندما يرتبط بها مادة كيميائية تُسمى ______.

20. المساحة المحاطة بأغشية مجمع جولجى والشبكة الإندوبلازمية تُسمى ______.

10. يمكن للمادة أن تخرج من الخلية بأى من الوسائل التالية *ما عدا*
أ. النقل النشط.
ب. الابتلاع الخلوى السائل)البينوسيتوزز(.
ج. مضاد النقل.
د. الانتشار البسيط.
هـ. الطرح الخلوى.

11. معظم الخلايا البشرية يتراوح قطرها بين 10 إلى 15 ______ فى القطر.

12. عندما لا يستطيع الهرمون دخول الخلية، فإنه يفعل تكوين ______ داخل الخلية.

13. ______ القنوات فى غشاء البلازما تفتح أو تغلق استجابةً للتغيرات فى فرق الشحنة الكهربائية عبر الغشاء.

14. القوة التى يمارسها الماء على الغشاء تُسمى ______.

7. النقل المشترك للجلوكوز يستمد الطاقة من
أ. تدرج تركيز Na^{+}.
ب. الجلوكوز الذى يتم نقله.
ج. تدرج Ca^{2+}.
د. جهد الغشاء.
هـ. حرارة الجسم.

8. وظيفة cAMP فى الخلية هى
أ. تنشيط بروتين G.
ب. إزالة مجموعات الفوسفات من ATP.
ج. لتنشيط الكينازات.
د. للارتباط بالمرسال الأول.
هـ. لإضافة مجموعات الفوسفات إلى الإنزيمات.

9. معظم أغشية الخلايا تُصنع بواسطة
أ. النواة.
ب. الهيكل الخلوى.
ج. الإنزيمات فى البيروكسيسومات.
د. الشبكة الإندوبلازمية.
هـ. تكرار الأغشية الموجودة.

بناء مفرداتك الطبية

الإجابات فى الملحق أ

حدد معنى كل عنصر من عناصر الكلمة، واذكر مصطلحًا طبيًا من هذا الفصل يستخدمه أو تغييرًا طفيفًا له.

1. مضاد-
2. كروماتو-
3. مشترك-
4. سيتو-
5. إندو-
6. تسهيل-
7. اندماج-
8. -لوجيا
9. -وسيس
10. فاجو-

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

الإجابات فى الملحق أ

اشرح بإيجاز لماذا كل من العبارات التالية خاطئة، أو أعد صياغتها لتصبح صحيحة.

1. إذا تم تسميم الخلية بحيث لا تستطيع إنتاج ATP، فإن عملية الأسموزية عبر غشائها ستتوقف.
2. كل خلية فى جسم الإنسان تحتوى على نواة واحدة فقط.
3. الرسل الثانيون فى الخلية يخدمون بشكل رئيسى لنقل المذاب عبر الغشاء.
4. مجمع جولجى يصنع جميع الليسوسومات والبروكسيسومات فى الخلية.
5. بعض قنوات الغشاء هى بروتينات طرفية.
6. الغشاء البلازمى يتكون بشكل أساسى من جزيئات البروتين.
7. الحد الحدودى للخلية يتكون من الأهداب.
8. الخلايا البشرية الموضوعة فى محلول ملحى مفرط التوتر ستنتفخ وتنفجر.
9. الحد الأقصى للنقل (T_m) يحدد حدًا أعلى لمعدل التناضح.
10. جميع الريبوسومات فى الخلية توجد على الغلاف النووى والشبكة الإندوبلازمية الخشنة.

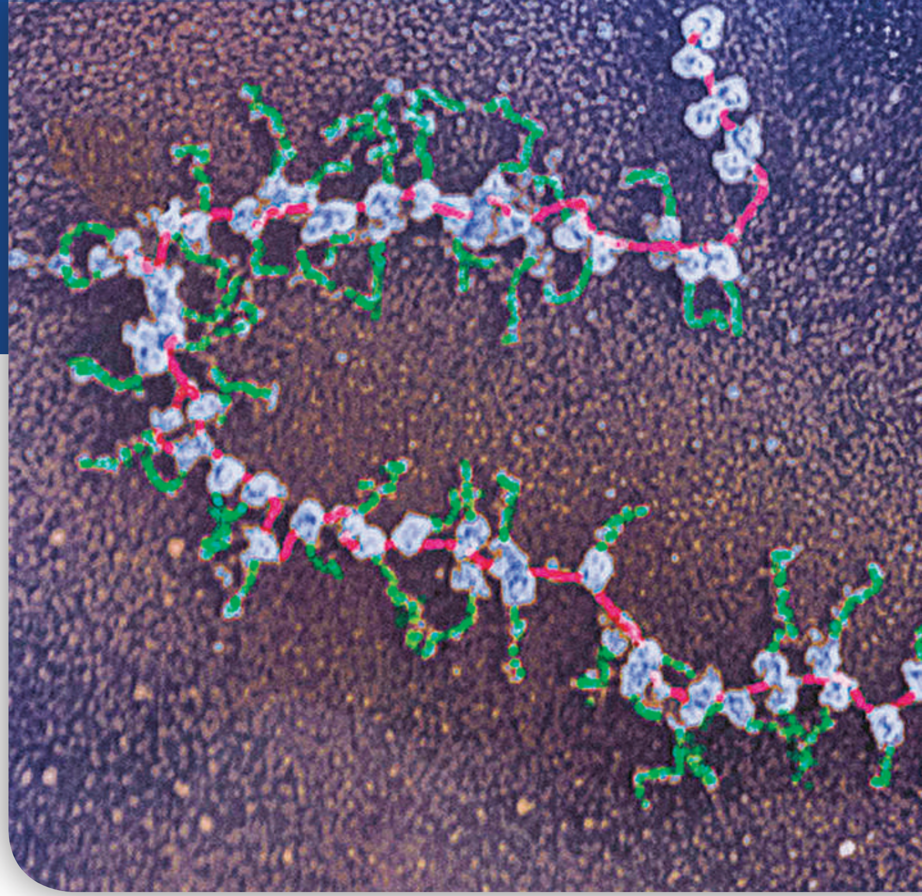
اختبار فهمك

1. إذا اشترى شخص سمكة مياه مالحة من متجر حيوانات أليفة ووضعها فى حوض أسماك مياه عذبة فى المنزل، ماذا سيحدث لخلايا السمكة؟ ماذا سيحدث إذا وضع شخص سمكة مياه عذبة فى حوض أسماك مياه مالحة؟ اشرح.
2. يد وساعد مزارع تعرضا لسحق شديد فى آلة جمع التبن. عند فحصه فى المستشفى، وُجد أن مستوى البوتاسيوم فى دمه غير طبيعى. هل تتوقع أن يكون أعلى أم أقل من الطبيعى؟ اشرح.
3. يعانى العديد من الأطفال حول العالم من نقص حاد فى البروتين الغذائى. ونتيجة لذلك، لديهم مستويات منخفضة جدًا من الألبومين فى الدم. كيف تعتقد أن هذا يؤثر على محتوى الماء وحجم دمهم؟ اشرح.
4. غالبًا ما يُقال، حتى فى بعض الكتب الدراسية، أن الميتوكوندريا تصنع الطاقة للخلية. لماذا هذا البيان خاطئ؟
5. متلازمة كارتاجينر هى مرض وراثى تفتقد فيه الأذرع الدينية)داينين(إلى الأكسونيمات فى الأهداب والأسواط. توقع تأثير متلازمة كارتاجينر على قدرة الرجل على إنجاب طفل. توقع تأثيرها على صحته التنفسية. اشرح كلا الإجابتين.

الفصل

4

الجينات و الوظائف الخلوية



Ribosomes (gray) reading the genetic instructions on a messenger RNA الخيط)الأحمر(، يُنتج البروتينات)الأخضر(مع تسلسل الأحماض الأمينية المحدد بواسطة الشفرة الجينية)TEM(

إلينا كيسيليفا / مصدر العلوم

رؤى أعمق

4.1 تاريخ الطبي: اكتشاف اللولب المزدوج

4.2 التطبيق السريري: الطب الجيني

4.3 التطبيق السريري: السرطان

مخطط الفصل



الوحدة 2: الخلايا والكيمياء

مع التحسينات فى المجهر، لاحظ علماء الأحياء فى أواخر القرن التاسع
عشر أن انقسام الخلية يسبقه مباشرة انقسام نووى، وخلال الانقسام ا
لنووى، تنقسم الكروموسومات بدقة إلى نصفين وتوزع أنصافها على ا
لخليتين الابنتين. بدأوا يشكون أن النواة هى مركز الوراثة والسيطرة ال
خلوية، وبدأوا فى استكشافها بحثًا عن الأسرار الكيميائية الحيوية للورا
ثة. درس الكيميائى الحيوى السويسرى يوهان فريدريش ميسشر)18
44–1895(نوى خلايا الدم البيضاء المستخرجة من القيح فى ضمادا
ت المستشفيات، ولاحقًا نوى حيوانات منوية السلمون، حيث توفر
كلا النوعين من الخلايا نوى كبيرة مع كميات قليلة من السيتوبلازم الم
لوث. فى عام 1869، اكتشف مادة حمضية غنية بالفوسفور أطلق عل
يها اسم *nuclein.* وكان يعتقد بشكل صحيح أن هذه المادة هى المادة
الوراثية للخلية، رغم أنه لم يتمكن من إقناع العلماء الآخرين بذلك. نح
ن الآن نسمى هذه المادة الحمض النووى الريبوزى منقوص الأكسجين
(DNA) ونعلم أنها مخزن جيناتنا.

بحلول عام 1900، كان الكيميائيون الحيويون يعرفون المكونات ا
لأساسية للحمض النووى—السكر، مجموعات الفوسفات، والحلقات ا
لعضوية المسماة القواعد النيتروجينية—لكن لم تكن لديهم التكنولوج
يا لتحديد كيفية تركيبها معًا. لم يتحقق هذا الفهم إلا فى عام 1953،
فى واحدة من أكثر قصص الاكتشاف العلمى إثارة وأهمية فى القرن ا
لعشرين)انظر التعمق 4.1(.
الوصف التالى للحمض النووى هو إلى حد كبير نتيجة ذلك العمل.

4.1أ بنية ووظيفة الحمض النووى

الحمض النووى هو جزىء طويل يشبه الخيط بقطر موحد يبلغ 2 نانوم
تر، رغم أن طوله يختلف كثيرًا من أصغر إلى أكبر الكروموسومات. تح
توى معظم الخلايا البشرية على 46 جزىء حمض نووى يبلغ مجموع ط
ولها 2 متر. هذا يجعل متوسط طول جزىء الحمض النووى حوالى 43
ملم)ما يقرب من 2 إنش(. لوضع هذا فى منظور، تخيل أن جزىء الح
مض النووى المتوسط قد تم تكبيره ليصل قطره إلى قطر عمود كهربا
ئى)حوالى 20 سم، أو 8 إنش(. عند هذا القطر، سيكون العمود المتنا
سب مع الحمض النووى مرتفعًا حوالى 4400 كم)2700 ميل(فى ال
فضاء—أعلى بكثير من مدارات محطة الفضاء الدولية)408 كم(وتل
سكوب هابل الفضائى)600 كم(.
على المستوى الجزيئى، الحمض النووى والأحماض النووية الأخرى ه
ى بوليمرات من النيوكليوتيدات. تتكون النيوكليوتيدة من سكر، مجموعة
فوسفات، وقاعدة نيتروجينية ذات حلقة واحدة أو مزدوجة)الشكل 4.1أ(. ا
ثنتان من القواعد فى الحمض النووى— السيتوزين)C(و الثايمين
(T) —لهما حلقة كربون-نيتروجين واحدة وتصنفان كـ بيريميدينات-py)
RIM-ih-deens(. القاعدتان الأخريان— الأدينين)A(والجوانين)G
(—لهما حلقات مزدوجة وتصنفان كـ بورينات)الشكل 4.1ب(.

بنية الحمض النووى، التى توصف عادة بأنها *لولب مزدوج*، تش
به سلمًا حلزونيًا)الشكل 4.2(. كل جانب هو عمود فقرى مكون من م
جموعات الفوسفات بالتناوب مع السكر *الديوكسيريبوز*. الروابط الش
بيهة بالدرج بين الأعمدة الفقرية هى أزواج من القواعد النيتروجينية.
تواجه القواعد داخل اللولب وتربط العمودين الفقريين معًا بواسطة روا
بط هيدروجينية. مقابل بورين على عمود فقرى واحد، يوجد بيريميدين
على الآخر. اقتران كل بيريميدين صغير ذو حلقة واحدة مع بورين كبير
ذو حلقتين يعطى جزىء الحمض النووى عرضه الموحد البالغ 2 نانوم
تر.

مراجعة

- لفهم كيفية توجيه الجينات لتخليق البروتينات، يجب أن تكون على دراية ببنية البروتين)انظر القسم 2.4e(.
- فهم معالجة وتغليف البروتينات يعتمد على الإلمام بالعضيات ال تى تقوم بهذه العمليات)انظر القسم 3.4b(.
- راجع عملية الإفراز الخلوى)exocytosis( )انظر القسم 3.3f(لفهم كيفية إ فراز الخلية للبروتينات التى تم تصنيعها حديثًا والمخصصة للاستخدام خار ج الخلية.
- تأكد من معرفتك بالأنابيب الدقيقة)الميكروتيوبولات(والسنترولات، كلاهما فى الق سم 3.4a، كأساس لفهم انقسام الخلية عن طريق الانقسام المتساوى)الميتوزى(.

تناقش عدة فصول فى هذا الكتاب الصفات الوراثية مثل فصائل الدم
ولون الشعر والاضطرابات الوراثية مثل عمى الألوان، التليف الكيسى،
داء السكرى، والهيموفيليا. لفهم هذه الحالات، من الضرورى أن تكون لديك
معرفة أساسية بالحمض النووى)DNA(والجينات. يهدف هذا الفصل إلى
توفير هذه التحضيرات.
كان الوراثة موضوع اهتمام بشرى حتى فى الكتابات الدينية، لكن الفهم
العلمى لكيفية انتقال الصفات من الآباء إلى الأبناء بدأ مع الراهب النمساو
ى جريجور مندل)1822–1884(وتجاربه الشهيرة على نبات البازلاء. بحلول
أواخر القرن التاسع عشر، لاحظ علماء الأحياء الكروموسومات وسلوكها أثنا
ء انقسام الخلية. فى أوائل القرن العشرين، أعيد اكتشاف أعمال مندل وأدر
كوا العلاقة بين سلوك الكروموسومات وقوانينه فى الوراثة. من ذلك البداية
البسيطة ولكن البصيرة، نمت علم الوراثة ليصبح علمًا متنوعًا للغاية مع عد
ة تخصصات فرعية، ويُعتبر من أكثر العلوم الطبيعية ديناميكية فى العقود ا
لأولى من القرن الحادى والعشرين.

علم الوراثة المندلية يتعامل مع علاقات الوالدين والأبناء والعلاقات العا
ئلية الأكبر لفهم وتوقع أنماط الوراثة داخل خط العائلة. علم الوراثة الخلوية)
Cytogenetics(يستخدم تقنيات علم الخلايا والمجهر لدرا
سة الكروموسومات وعلاقتها بالصفات الوراثية. علم الوراثة الجزيئية)Mol
ecular genetics(يستخدم تقنيات الكيمياء الحيوية لدرا
سة بنية ووظيفة الحمض النووى)DNA(. الطب الجينومى)Genomic m
edicine(يدرس بشكل شامل كامل الحمض النووى للفرد)ال
جينوم(، وكيف يؤثر على الصحة والمرض، وكيف يمكن استخدام هذه المعر
فة للوقاية من الأمراض أو علاجها أو شفائها. سنستعرض هذه المنظورات
فى هذا الفصل.

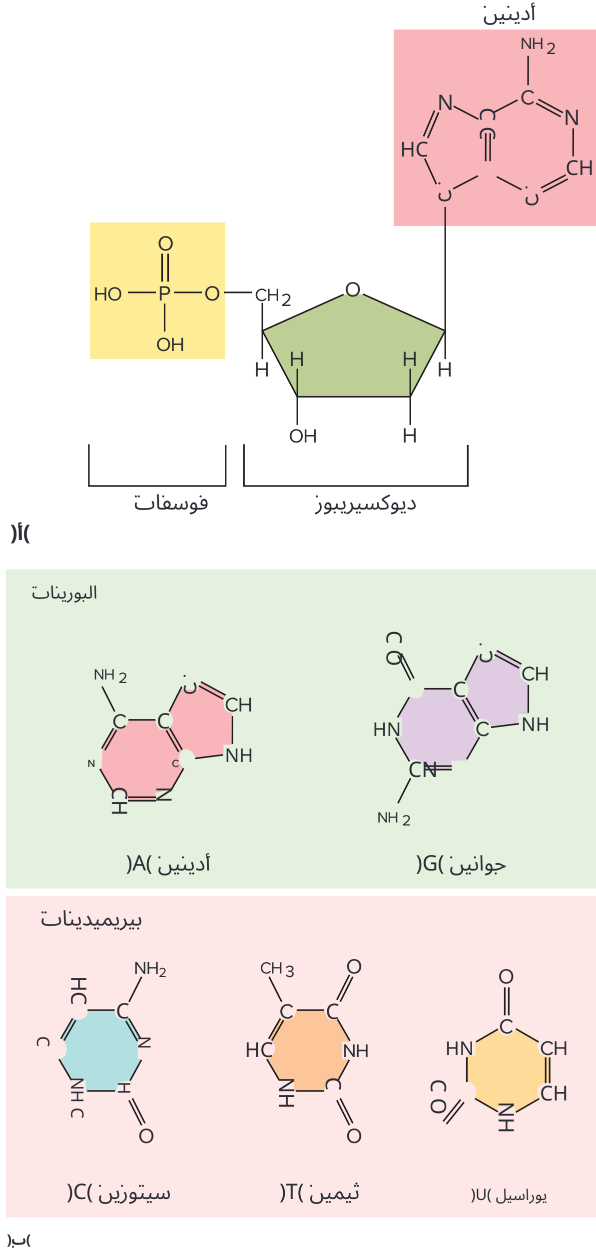
4.1 الحمض النووى والحمض النووى الر
يبى—الأحماض النووية

النتائج التعليمية المتوقعة

عندما تكمل هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

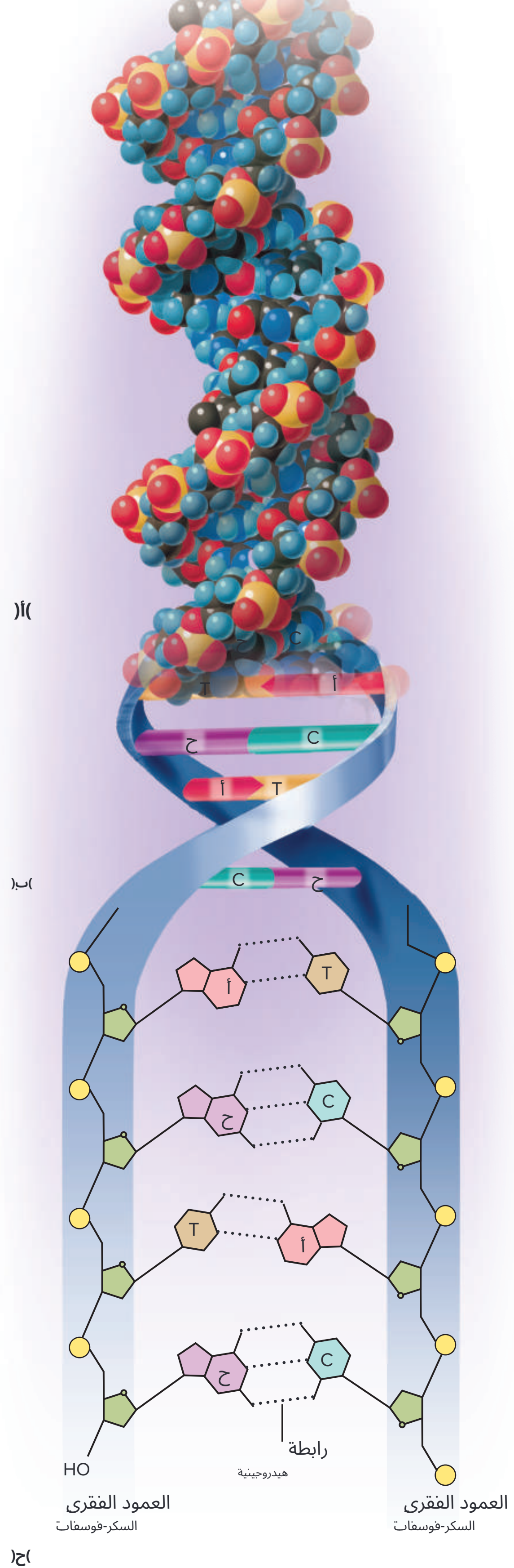
أ. وصف بنية الحمض النووى وربط ذلك بوظيفته؛
ب. اشرح كيف يتم تنظيم الحمض النووى والبروتينات لتشكيل الكروموسومات؛ و
ج. وصف أنواع الحمض النووى الريبى، والاختلافات الهيكلية والوظي فية بينها، وكيفية مقارنتها بالحمض النووى.

لا يمكن لبيورين معين أن يرتبط عشوائياً بأى بيريميدين. تشكل الأدينين والثيمين رابطتى هيدروجين مع بعضهما البعض، بينما يشكل الجوانين والسيتوزين ثلاث روابط، كما هو موضح فى الشكل 4.2ح. لذلك، حيث يوجد A على أحد السلاسل، يوجد عادةً T مقابله، وكل C عادةً ما يقترن بـ G. يُطلق على A—T و C — G اسم أزواج القواعد. ا لحقيقة أن سلسلة واحدة تتحكم فى تسلسل القواعد فى الأخرى تُسم ى قانون التزاوج التكميلى للقواعد. هذا يمكننا من التنبؤ بتسلسل ال قواعد فى إحدى السلاسل إذا عرفنا تسلسل السلسلة المكملة.



الشكل 4.1 النيوكليوتيدات والقواعد النيتروجينية.)أ(بنية النيوكليوتيد ، وهو أحد مونومرات DNA وRNA. فى RNA، السكر هو الريبوز.)ب(القواعد النيتروجينية الخمس الموجودة فى DNA وRNA.

كيف سيتأثر القطر الموحد لـ DNA البالغ 2 نانومتر إذا كان بإمكان اثنين من البيورينات أو اثنين من البيريميدينات الارتباط ببعضهما البعض؟



الشكل 4.2 هيكل الحمض النووى)DNA(.)أ(نموذج جزيئى يملأ الفراغ لـ DNA يعطى انطباعًا عن هندسته الجزيئية.)ب(هيكل "السلم الحلزونى". يلتف العمودان الفقريان للسكر-فوسفات حول بعضهما البعض بينما تواجه القواعد المكملة)الأشرطة الملونة(بعضها البعض داخل اللولب المزدوج.)ح(مقطع صغير من DNA يُظهر تركيب العمود الفقرى و التزاوج التكميلى للقواعد النيتروجينية.



رؤية أعمق 4.1

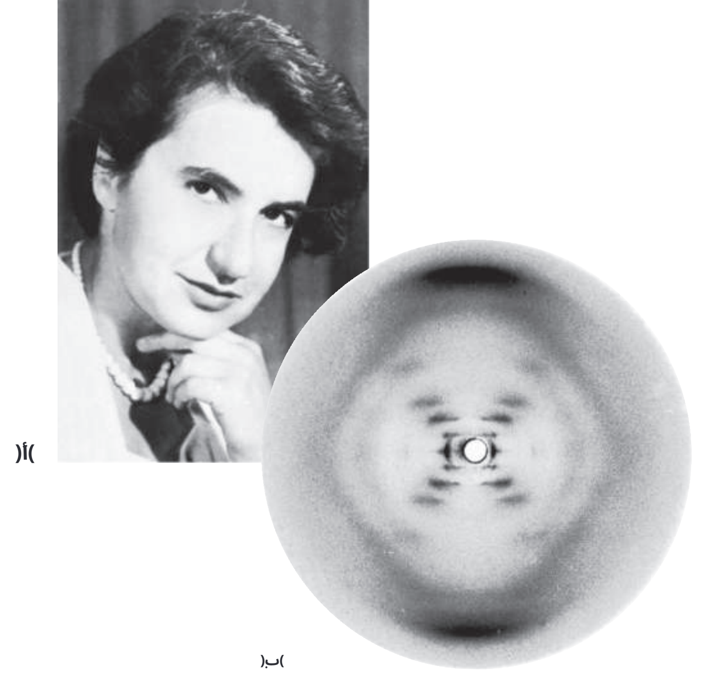
التاريخ الطبى

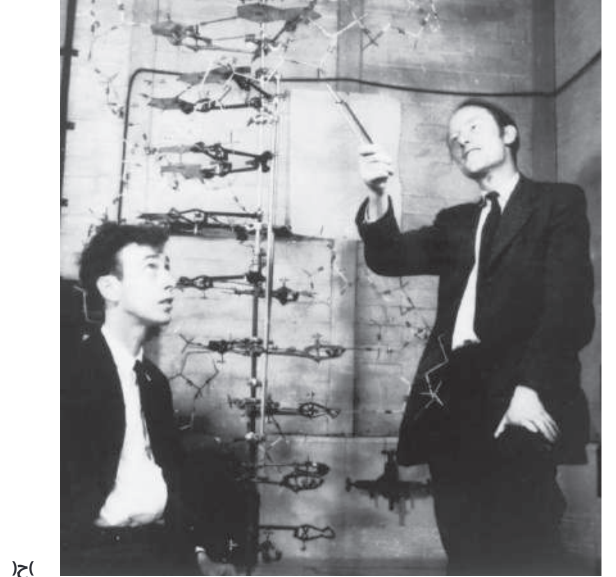
اكتشاف اللولب المزدوج

يُنسب الفضل فى تحديد البنية اللولبية المزدوجة للحمض النووى بشكل رئيسى إلى جيمس واتسون وفرانسيس كريك (الشكل 4.3). تشكل الأحداث المحيطة باكتشافهم واحدة من أكثر القصص إثارة فى العلم الحديث—موضوع العديد من الكتب وعلى الأقل فيلم واحد. عندما بدأ واتسون وكريك مشاركة مختبر فى جامعة كامبريدج عام 1951، كان كلاهما قد بدأ مسيرته المهنية بالكاد. كان واتسون، البالغ من العمر 23 عامًا، قد أنهى للتو درجة الدكتوراه فى الولايات المتحدة، وكان كريك، الأكبر منه بـ 11 عامًا، طالب دكتوراه فى إنجلترا. ومع ذلك، كان الاثنان على وشك أن يصبحا أشهر علماء الأحياء الجزيئية فى القرن العشرين، وجاء الاكتشاف الذى أكسبهما هذا الشهرة دون إجراء أى تجربة مخبرية خاصة بهما.

كان آخرون يعملون بحماس على الحمض النووى، بمن فيهم روزاليند فرانكلين وموريس ويلكنز فى كلية كينغ بلندن. باستخدام تقنية تُسمى حيود الأشعة السينية، حددت فرانكلين أن الحمض النووى له بنية لولبية متكررة مع السكر والفوسفات على خارج اللولب. بدون إذنها، عرض ويلكنز إحدى أفضل صور الأشعة السينية لفرانكلين على واتسون. قال واتسون: "فى اللحظة التى رأيت فيها الصورة، فتح فمى وبدأ نبضى يتسارع." قدمت هذه الصورة بصيرة مكنت فريق واتسون وكريك من التفوق على فرانكلين فى الوصول إلى الهدف. من خلال الجمع بين ما كانوا يعرفونه بالفعل والهندسة الجزيئية التى كشفتها صورة فرانكلين، تمكنوا بسرعة من تجميع نموذج مقياس يفسر تمامًا الهندسة المعروفة للحمض النووى. أرسلوا ورقة للنشر فى عام 1953 تصف اللولب المزدوج، مع ذكر ضئيل لأهمية عامى عمل فرانكلين الدقيق فى حيود الأشعة السينية فى فك لغز أهم جزىء فى الحياة. نشرت فرانكلين نتائجها فى ورقة منفصلة متتالية مع ورقتهم.

لهذا الاكتشاف والعقد التالى من الأبحاث حول الحمض النووى (DNA) التى فتحها، شارك واتسون، كريك، وويلكينز جائزة نوبل فى علم وظائف الأعضاء أو الطب عام 1962. تُمنح جوائز نوبل فقط للأحياء، وفى النهاية الساخرة لمسيرتها المهنية، توفيت روزاليند فرانكلين فى عام 1958 عن عمر يناهز 37 عامًا، بسبب سرطان ربما تسبب به الأشعة السينية التى كانت نافذتها على بنية الحمض النووى.





(أ) (ب) (ح)

الشكل 4.3 مكتشفو اللولب المزدوج. (أ) روزاليند فرانكلين (1920–1958)، التى كشفت صور الأشعة السينية الدقيقة التى التقطتها عن معلومات مهمة حول الهندسة الجزيئية للحمض النووى. (ب) إحدى صور الأشعة السينية التى التقطتها فرانكلين. (ح) جيمس واتسون (1928–) (يسار) وفرانسيس كريك (1916–2004) مع نموذجهم للولب المزدوج.

أ: بإذن من مختبر كولد سبرينغ هاربور؛ ب: بإذن من كلية كينغ، لندن؛ ح: أ. بارينغتون براون/مصدر العلوم

يُقدّر أن لدى البشر حوالى 22300 جين. هذه الجينات تشكل فقط حوالى 2% من الحمض النووى. أما الـ 98% المتبقية فلا تُشفّر لبروتينات، لكنها تلعب أدوارًا مختلفة فى بنية الكروموسومات وتنظيم نشاط الجينات.

4.1ب الكروماتين والكروموسومات

لا يوجد الحمض النووى على شكل لولب مزدوج عارٍ فى نواة الخلية، بل يكون معقدًا مع البروتينات لتشكيل مادة خيطية دقيقة تُسمى الكروماتين. فى معظم الخلايا، يظهر الكروماتين على شكل 46 خيطًا طويلًا تُسمى الكروموسومات. هناك كمية هائلة من الحمض النووى فى نواة واحدة—حوالى 2 متر (6 أقدام) منه فى النصف الأول من

طبق ما تعرفه

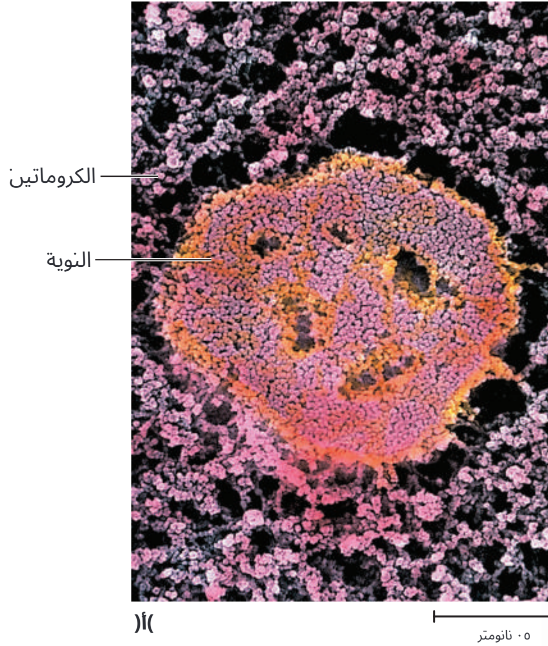
ما هو تسلسل القاعدة فى شريط الحمض النووى المقابل لـ ATTGACTCG؟ إذا كان من المعروف أن جزىء الحمض النووى يحتوى على 20% أدينين، فتنبأ بنسبة السيتوزين وفسر إجابتك.

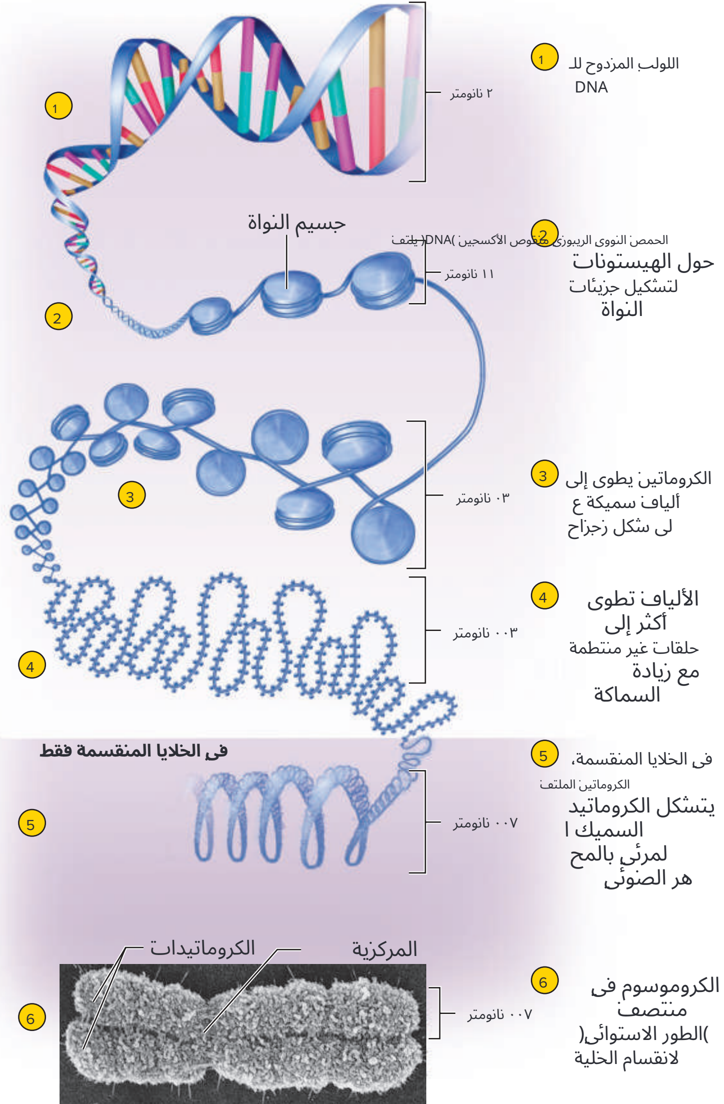
الوظيفة الأساسية للحمض النووى هى حمل التعليمات، التى تُسمى الجينات، لتخليق البروتينات. فى هذه المرحلة من الفصل، سنعتبر مؤقتًا أن الجين هو جزء من الحمض النووى يُشفّر لبروتين. لاحقًا، سيتعين علينا مواجهة حقيقة أن هذا تعريف غير كافٍ، وسنبحث فى معنى الكلمة بشكل أعمق.

هذه هي حالة الحمض النووي في خلية غير منقسمة. إنها ليست بنية ثابتة، بل تتغير من لحظة إلى أخرى وفقًا للنشاط الجيني للخلية ح يث يتم تشغيل وإيقاف الجينات الفردية.
تهاجر الكروموسومات الكاملة إلى أقاليم جديدة مع تطور الخلية—على سبيل المثال، تنتقل من الحافة إلى مركز النواة عندما يتم تنشيط جي ناتها لمهمة تطورية معينة، أو تعود إلى غشاء النواة لإسكات بعض الج ينات. هذا يسمح للجينات على كروموسومات مختلفة بالتعاون مع بع ضها البعض لإحداث تغييرات تطورية في الخلية.

عندما تستعد الخلية للانقسام، تقوم بعمل نسخة دقيقة من كل الحم ض النووي النووي الخاص بها من خلال عملية سيتم وصفها لاحقًا، مما يز يد من كمية الحمض النووي إلى حوالي 4 أمتار. ثم يتكون كل كروموسوم م ن خيطين متوازيين يُسميانالكروماتيدات الشقيقة.في المرحلة المبكرة م ن انقسام الخلية(*الطور التمهيدي)*،تلتف هذه الكروماتيدات أكثر حتى يص بح كل واحد منها، في أكثر حالاته انضغاطًا، أقصر بمقدار 10000 مرة ولكن أكثر سمكًا بمقدار 350 مرة من اللولب المزدوج للحمض النووي. فقط الآ ن تصبح الكروموسومات سميكة بما يكفي لرؤيتها بالمجهر الضوئي. هذا ا لانضغاط لا يسمح فقط لـ 4 أمتار من الحمض النووي أن مضاعفتها بمقدار الضعف عندما تقوم الخلية بتكرار الحمض النووي استعدادً لانقسام الخلية. إنه إنجاز هائل أن يتم حزم هذا القدر من الحمض النووي داخ ل نواة قطرها حوالي 5 ميكرومتر فقط—وبطريقة منظمة بحيث لا يتشابك أو ينكسر أو يتلف بشكل لا يمكن استخدامه.

لتحقيق هذا الحزم، يتم لف الحمض النووي بشكل مكثف ولفائ ف فائقة. الشكل 4.4 يوضح المستويات المتعاقبة لهذا التنظيم. يل تف الحمض النووي أولاً حول بكرات من البروتينات تسمى *الهيستو نات* لتشكيل الحبيبات الصغيرة)جزيئات النواة(المرئية في الشكل 4.4أ. ثم يطوى الكروماتين إلى متعرجات متعاقبة، وحلقات، ولفائف، ليصبح أكثر سمكًا وقصرًا أثناء ذلك)الشكل 4.4ب(. في النهاية، يتم تجميع الحمض النووي، الذي يبلغ قطره 2 نانومتر، في خيوط كروماتي ن أكثر سمكًا 150 مرة وأقصر 1000 مرة من الحمض النووي العاري. وأخيرًا، يتم حزم كل كروموسوم في منطقته الكروية الخاصة داخل النوا ة، والتي تسمى إقليم الكروموسوم. إقليم الكروموسوم مشبع بقنوات تسمح للمواد الكيميائية التنظيمية بالوصول إلى الجينات.





الشكل ٤.٤ هيكل الكروماتين.)أ(محتويات النواة في خلية جرثومية من جنين بشري تُظهر أليافًا حبيبية من الكروماتين.)ب(التواء الكروماتين. لاحظ السماكة التدريجية للألياف من الأعلى إلى الأسفل.

أ: ب. موتا وت. ناجورو/SPL/Science Source؛ ب: Biophoto Associates/Science Source

الجدول 4.1 مقارنة بين الحمض النووي والحمض النووي الريبي

الميزة	الحمض النووي	الحمض النووي الريبي
السكر	ديوكسيريبوز	ريبوز
أنواع القواعد النيتروجينية	أ، ت، ح، غ	أ، ى، ح، غ
عدد القواعد النيتروجينية	متوسط 10^8 أزواج القواعد	70–10,000 قاعدة، معظمها غير مزدوجة
عدد سلاسل النوكليوتيدات	اثنان (لولب مزدوج)	واحد
موقع الفعل	وظائف في النواة؛ لا يمكن الخروج	يترك النواة؛ يعمل بشكل رئيس في السيتوبلازم
الوظيفة	يشفر لتكوين الحمض النووي الريبي والبروتين	ينفذ التعليمات في الحمض النووي؛ يركب البروتينات

سلسلة نوكليوتيد واحدة فقط، غير مرتبطة بواسطة أزواج قواعد تكميلية إلا في مناطق معينة حيث يطوى الجزيء نفسه. السكر في RNA هو الريبوز بدلاً من الديوكسيريبوز. يحتوي RNA على ثلاثة من نفس القواعد النيتروجينية الموجودة في DNA—الأدينين، السيتوزين، والجوانين—لكنه لا يحتوي على الثيمين؛ بل يحتوي على قاعدة تسمى اليوراسيل (U) يأخذ مكانه (انظر الشكل 4.1ب).

الوظيفة الأساسية للأنواع الثلاثة الرئيسية من الحمض النووي الريبي هي تفسير الشفرة في الحمض النووي واستخدام تلك التعليمات لتخليق البروتينات. الحمض النووي الريبي هو جزيء قابل للتصرف يعمل بشكل رئيسي في السيتوبلازم، بينما الحمض النووي (DNA) لا يمكن استبداله ويظل بأمان في النواة، "يصدر الأوامر" من هناك. يتم وصف هذه العملية في القسم التالي من الفصل.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

1. ما هي المكونات الثلاثة للنيوكليوتيد؟ أي مكون يختلف من نيوكليوتيد إلى آخر في الحمض النووي (DNA)؟
2. ما الذي يحكم نمط اقتران القواعد في الحمض النووي (DNA)؟
3. ما الفرق بين الحمض النووي (DNA) والكروماتين؟
4. لخص الفروقات الهيكلية والوظيفية بين الحمض النووي (DNA) والحمض النووي الريبي (RNA).

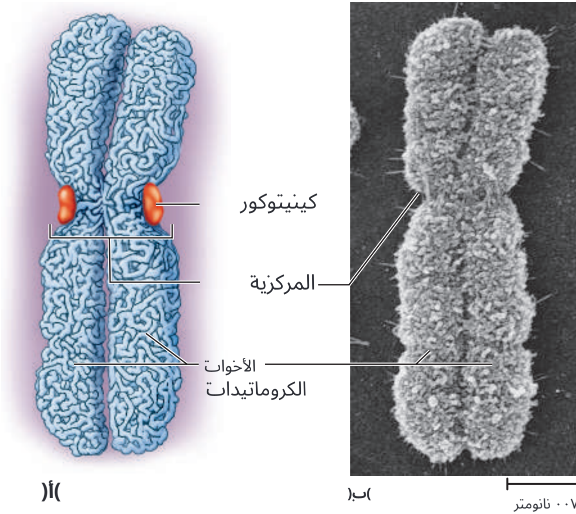
الجينات وعملها 4.2

النتائج التعليمية المتوقعة

عندما تكمل هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. قدم تعريفًا عمليًا للجين وشرح لماذا غيرت الاكتشافات الجديدة في علم الوراثة مفهومنا لما هو الجين؛

ب. اشرح ما هو الجينوم البشري وما العلاقة التي تربطه بعلوم الصحة؛



الشكل 4.5 هيكل الكروموسوم في الطور الاستوائي. (أ) رسم لكروموسوم في الطور الاستوائي. (ب) صورة مجهر إلكتروني مسحي.

ب: Biophoto Associates/Science Source

لا تتيح فقط التناسب داخل النواة، بل تمكّن أيضًا من سحب الكروماتيدات الشقيقة الاثنين وفصلهما وحملهما إلى خلايا ابنة منفصلة.

على الرغم من كل هذا التعبئة المعقدة، يتعرض DNA في الخلية الثديية المتوسطة لأضرار مذهلة تتراوح بين 10,000 إلى 100,000 مرة يوميًا! ستكون العواقب كارثية لولا وجود إنزيمات إصلاح DNA التي تكشف وتصلح معظم الأضرار.

الشكل 4.5 يُظهر بنية الكروموسوم في بداية انقسام الخلية، عندما يكون مضغوطًا إلى أقصى حد. يتكون من كروماتيدات شقيقة متطابقة ورقية الشكل مرتبطة معًا عند نقطة ضيقة تسمى السنترومير. على كل جانب من السنترومير، هناك لوحة بروتينية تسمى كينيتوكور[1] (kih-NEE-to-core)، والتي تلعب دورًا في انقسام الخلية.

4.1c بنية ووظيفة RNA

البوليمرات النوكليوتيدية المسماة الأحماض الريبونية النووية (RNAs) هي أقارب أصغر لـ DNA. هناك العديد من أشكال RNA ذات وظائف متنوعة في الخلية، لكننا سنركز على الثلاثة التي تشارك مباشرة في إنتاج البروتينات: *RNA الرسول (mRNA)*، *RNA الريبوسومي (rRNA)*، و *RNA الناقل (tRNA)*. لا يستطيع DNA إنتاج البروتينات بدون مساعدتهم. أنواع RNA الأخرى المسماة *RNA غير المشفر (ncRNA)* تلعب أدوارًا تنظيمية وإنزيمية متنوعة.

ما الذي يشترك فيه mRNA وrRNA وtRNA، وكيف يختلفون عن DNA؟ الفرق الأبرز هو أن RNA أصغر بكثير، يتراوح طوله من حوالي 70 إلى 90 قاعدة في tRNA إلى أكثر قليلاً من 10,000 قاعدة في أكبر mRNA. بالمقابل، يبلغ متوسط طول DNA أكثر من 100 مليون زوج قاعدي (الجدول 4.1).

أيضًا، بينما يكون DNA على شكل لولب مزدوج، يتكون RNA من

[1] كينيتو = حركة؛ كور = مكان

مع تعمق علماء الأحياء الجزيئية فى دراسة الحمض النووى، أصبح تعر يف الجين أكثر تآكلاً وتفتتًا عند الحواف.

لأغراض هذا الكتاب التمهيدى، يمكننا مع ذلك الاقتصار على معنى تقريبى. سنعرّف *الجين* على أنه مقطع من الحمض النووى)DNA(يحتوى على معلومات ويشفر لإنتاج جزىء RNA، والذى فى معظم الحالات يلعب دورًا فى تخليق واحد أو أكثر من البروتينات. يتم تحديد تسلسل الأحماض الأمينية لبروتين بواسطة تسلسل النوكليوتيدات فى الحمض النووى.

تأتى الكروموسومات البشرية الـ 46 فى مجموعتين من 23، مجم وعة من كل والد. بعض هذه الكروموسومات غنية بالجينات، مثل الكر وموسومات 17 و19 و22، فى حين أن البعض الآخر فقير بالجينات، م ثل 4 و8 و13 و18 و21 وكروموسوم Y)انظر الشكل 4.16(. يُطلق على كل الحمض النووى، سواء المشفر أو غير المشفر، فى مجموعة واحدة من 23 كروموسوم اسم الجينوم. يتكون الجينوم الكامل من حوالى 3. 1 مليار زوج من النيوكليوتيدات. يبلغ متوسط طول الجينات الفردية ح والى 3000 نيوكليوتيدة، لكن يمكن أن يصل إلى 2.4 مليون. معظم ا لجينات متطابقة فى كل إنسان. جميع البشر فى العالم متطابقون جي نيًا بنسبة لا تقل عن 99.99%، ولكن حتى الاختلاف بنسبة 0.01% يع نى أننا يمكن أن نختلف عن بعضنا البعض فى أكثر من 3 ملايين زوج قاعدى. تفسر التراكيب المختلفة لهذه تعدد أشكال النوكليوتيد المفر د[2]كل التنوع الجينى البشرى.

علم الجينوم هو علم حديث نسبيًا يهتم بالدراسة الشاملة للجينوم وكيف تؤثر جيناته والحمض النووى غير المشفر على بنية ووظيفة ال كائن الحى. من بين ثمار هذا البحث الأخرى، نعرف الآن المواقع الكرو موسومية لأكثر من 1400 طفرة ممرضة. لقد فتح هذا المعلومات ال باب أمام فرع من التشخيص الطبى والعلاج يسمى الطب الجينومى)انظر التعمق 4.2(.

[2]*بولى* = متعدد؛ *مورف* = شكل

ح. تعريف الشفرة الوراثية ووصف كيف يشفر الحمض النووى تركيب البروتين؛

د. وصف عملية تجميع الأحماض الأمينية لتكوين بروتين؛

هـ. شرح ما يحدث للبروتين بعد أن يتم تخليق تسلسل الأحماض الأمينية الخاص به؛

و. وصف بعض الطرق التى يمكن من خلالها تشغيل أو إيقاف ا لجين؛ و

ز. شرح كيف ينظم الحمض النووى بشكل غير مباشر تخليق الجزيئات غير البروتينية.

4.2أ ما هو الجين؟

على الرغم من أن علماء الأحياء يتحدثون كثيرًا عن الجينات، إلا أن الم صطلح صعب التعريف بشكل محير. تم صياغة كلمة *الجين* فى عام 1909 للدلالة على "وحدة الوراثة" المجردة التى تنتقل من الوالد إلى ا لنسل. ومع ذلك، لم يكن لدى أحد أدنى فكرة فى ذلك الوقت عن ال شكل الكيميائى أو الفيزيائى للجين—عن ماهية الجين *فعلاً*. بعد اكت شاف اللولب المزدوج، عمل علماء الأحياء الجزيئية على فك *الشفرة ا لوراثية* الموجودة فى القواعد الأربع للحمض النووى واعتبروا الجين جز ءًا من الحمض النووى يحمل الشفرة لبروتين معين. ولكن الآن، نعلم أ ن جسم الإنسان يحتوى على ملايين البروتينات المختلفة ولكن فقط 22,300 جينًا مشفرًا للبروتين؛ ومن الواضح أنه لا يوجد جين منفصل لكل بروتين. بالإضافة إلى ذلك، نعلم الآن أن عدة جينات بشرية تنتج فقط جزيئات RNA غير مشفرة للبروتين)ncRNA(التى لا توجه أبدًا تخليق بروتين؛ فالـ RNA هو المنتج النهائى لها.لقد زادت الاكتشافات الحديثة الأخرى من تعقيد مفهومنا للجين—الجينات التى تتداخل مع بعضها البعض، بحيث تنتمى بعض أجزاء الحمض النووى إلى جينين مختلفين؛ جينات قصيرة مدمجة داخل جينات أطول؛ بروتينات متعد دة مرتبطة مشفرة بواسطة جين واحد؛ وترتيبات غير متوقعة أخرى.

التعمق 4.2



التطبيق السريرى

الطب الجينومى

الطب الجينومى هو تطبيق معرفتنا بالجينوم فى التنبؤ والتشخيص وعلاج الأمرا ض. وهو ذو صلة باضطرابات متنوعة مثل السرطان، مرض الزهايمر، الفصام، ال سمنة، وحتى قابلية الشخص للإصابة بأمراض غير وراثية مثل الإيدز والسل.

تقدمت التكنولوجيا الجينومية إلى حد أنه مقابل أقل من 1000 دولار، يمكن فحص الجينوم الكامل للشخص بحثًا عن علامات خطر الإصابة بالأمراض. لماذا ير غب أى شخص فى ذلك؟ لأن معرفة الجينوم يمكن أن تغير بشكل كبير الرعاية ال سريرية. قد تسمح للأطباء بتوقع خطر الإصابة بالمرض لشخص ما والتنبؤ بمساره؛ يمكن أن تؤثر الطفرات فى جين واحد على شدة أمراض مثل الهيموفيليا، الحثل ا لعضلى، السرطان، والتليف الكيسى. يجب أن يسمح علم الجينوم أيضًا بالكشف ا لمبكر عن الأمراض والتدخل السريرى المبكر والأكثر فعالية.

يمكن أن تسبب الأدوية الآمنة لمعظم الناس آثارًا جانبية خطيرة لدى آخرين، بسب ب الاختلافات الجينية فى استقلاب الدواء. بدأ علم الجينوم فى توفير أساس لاخ تيار الأدوية الأكثر أمانًا أو فعالية ولتعديل الجرعات للمرضى المختلفين بناءً على تركيبتهم الجينية.

توسيع معرفة مواقع الطفرات الممرضة يزيد من إمكانية العلاج باستبدال الج ين. هذه عملية يتم فيها إزالة الخلايا من مريض يعانى من اضطراب جينى، وتزويد ها بجين طبيعى بدلاً من الجين المعيب، ثم إعادة إدخالها إلى الجسم. الأمل هو أن تتكاثر هذه الخلايا المعدلة وراثيًا وتوفر للمرضى منتجات جينية كانوا يفتقدونها—ربما الأنسولين لمريض السكرى أو عامل تخثر الدم لمريض الهيموفيليا. يستكش ف الباحثون حاليًا تقنية جديدة لتحرير الجينات تسمى *CRISPR-Cas9*التى تمكن من تحديد موقع جين معين فى الحمض النووى وإزالته أو استبداله. كانت القابلية السريرية والسلامة لا تزال قيد التحقيق وفى التجارب السريرية المبكرة عندما كُت ب هذا الإصدار من الكتاب.

يطرح علم الجينوم مشكلات جديدة فى أخلاقيات الطب والقانون.
هل يجب أن يكون جينومك مسألة خاصة بينك وبين طبيبك؟ هل يحق لشركة ال تأمين معرفة جينومك قبل إصدار تأمين صحى أو تأمين على الحياة لك حتى تعر ف خطر إصابتك بمرض كارثى، وتعدل تكلفة تغطيتك، أو حتى ترفض التغطية؟ ه ل يحق لصاحب عمل محتمل معرفة جينومك قبل عرض العمل عليك؟ هذه هى ا لمجالات التى تتقاطع فيها البيولوجيا والسياسة والقانون لتشكيل السياسة العامة .

يمكن دمجها بطرق مختلفة N^{x}؛ أي أن هناك $4^3 = 64$ (x) الرموز الجينية الممكنة المتاحة لتمثيل الأحماض الأمينية العشرين. ومع ذلك، فقط 61 من هذه الرموز تُشفّر للأحماض الأمينية. الثلاثة الأخرى — UAG و UGA و UAA — تُسمى رموز التوقف؛ فهي تشير إلى "نهاية الرسالة". مثل النقطة في نهاية الجملة. رمز التوقف يمكن آلية تصنيع البروتين في الخلية من الإحساس بأنها وصلت إلى نهاية التعليمات الخاصة ببروتين معين. يلعب الرمز الجيني AUG دورين: فهو يعمل كرمز للميثيونين وكذلك كـ رمز بدء. سيتم شرح هذه الوظيفة المزدوجة لاحقًا.

4.2ح تخليق البروتين

يمكننا الآن الانتقال لفهم كيفية تعاون DNA وRNA لإنتاج البروتينات. قبل دراسة التفاصيل، سيكون من المفيد النظر إلى الصورة الكبيرة. باختصار، الرمز الجيني في DNA يحدد البروتينات التي يمكن للخلية تصنيعها. جميع خلايا الجسم باستثناء الخلايا الجنسية وبعض خلايا الجهاز المناعي تحتوي على نفس الجينات تقريبًا. ومع ذلك، يتم تنشيط جينات مختلفة في خلايا مختلفة؛ على سبيل المثال، جينات الإنزيمات الهضمية نشطة في خلايا المعدة ولكن ليست في خلايا العضلات. أي خلية معينة تستخدم فقط من ثلث إلى ثلثي جيناتها؛ بينما تبقى البقية خاملة في تلك الخلية، لكن قد تكون فعالة في أنواع خلايا أخرى.

عندما يتم تنشيط جين، يتم صنع RNA الرسول (mRNA) — صورة معكوسة للجين، إلى حد ما. معظم mRNA ينتقل من النواة إلى السيتوبلازم، حيث يعمل كرمز لتجميع الأحماض الأمينية بالترتيب الصحيح لصنع بروتين معين. باختصار، يمكنك التفكير في عملية تخليق البروتين على أنها DNA ← mRNA ← بروتين، مع قراءة كل سهم على أنه "يرمز لإنتاج". الخطوة من DNA إلى mRNA تسمى *النسخ*، والخطوة من mRNA إلى البروتين تسمى الترجمة. يحدث النسخ في النواة، حيث يوجد DNA.

يحدث معظم الترجمة في السيتوبلازم، لكن قد يتم تصنيع 10% إلى 15% من البروتينات في النواة، مع حدوث الخطوتين هناك.

النسخ

DNA كبير جدًا بحيث لا يمكنه مغادرة النواة والمشاركة مباشرة في تخليق البروتين في السيتوبلازم. لذلك، من الضروري صنع نسخة صغيرة من mRNA يمكنها الانتقال عبر مسام النواة إلى السيتوبلازم. تمامًا كما قد نقوم بنسخ وثيقة، فإن النسخ في علم الوراثة يعني عملية نسخ التعليمات الجينية من DNA إلى RNA. إنزيم يسمى بوليميراز RNA (po-LIM-ur-ase) يرتبط بـ DNA ويجمع RNA. يفتح اللولب الحلزوني لـ DNA حوالي 17 زوجًا قاعديًا في كل مرة، ويقرأ القواعد من أحد خيوط DNA ويصنع RNA مطابقًا. حيث يجد C على DNA، يضيف G إلى RNA؛ حيث يجد A، يضيف U؛ وهكذا. ثم يعيد الإنزيم لف اللولب الحلزوني لـ DNA خلفه. قد يتبع بوليميراز RNA آخر عن قرب الأول؛ وبالتالي، قد يتم نسخ الجين بواسطة عدة جزيئات بوليميراز في نفس الوقت، ويتم صنع نسخ عديدة من نفس RNA. في نهاية الجين يوجد تسلسل قاعدي يعمل كمُنهي، يشير إلى البوليميراز بالتوقف.

الـ RNA المنتج من النسخ هو شكل "غير ناضج" يسمى *pre-mRNA*. يحتوي هذا الجزيء على مقاطع تسمى *الإكسونات* التي سيتم ترجمتها إلى بروتين، ومقاطع تسمى *الإنترونات* التي تُزال قبل الترجمة (الشكل 4.6). تقوم الإنزيمات بقص الإنترونات وتوصيل الإكسونات معًا لتكوين mRNA وظيفي.

4.2ب الشفرة الوراثية

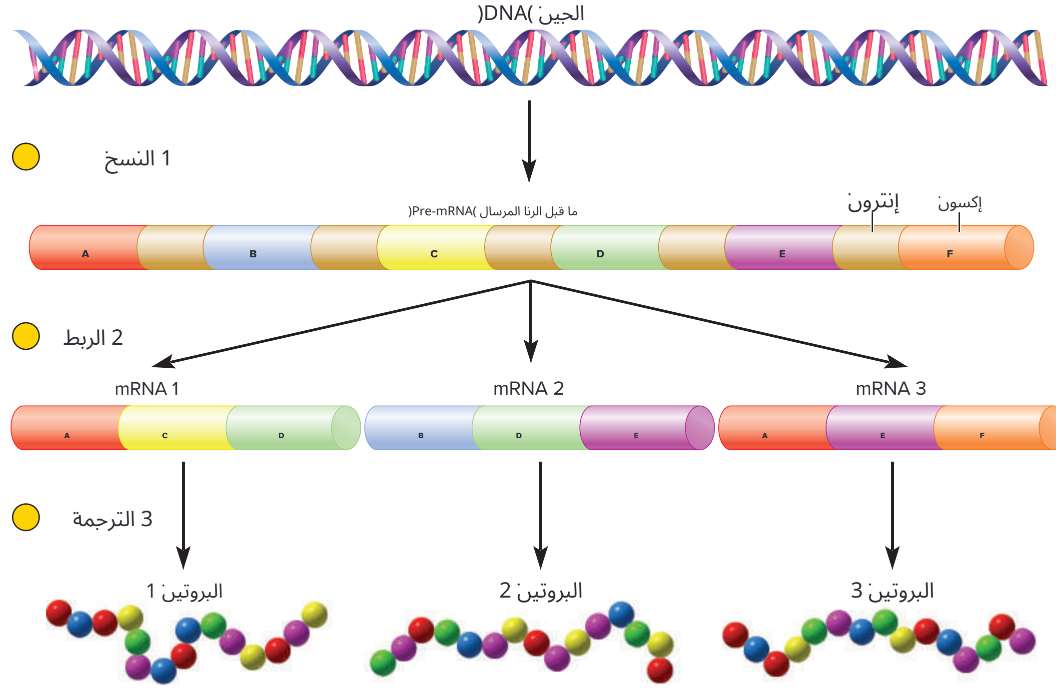
يبدو من اللافت أن الجسم يمكنه صنع ملايين البروتينات المختلفة (المسماة البروتيوم)، كلها من نفس 20 حمض أميني وجميعها مشفرة بواسطة جينات مكونة من 4 نيوكليوتيدات فقط (A, T, C, G). في السنوات الأولى بعد اكتشاف بنية الحمض النووي، وصف عالم بارز إياه بأنه "جزيء غبي"، بسيط ومتكرر جدًا في تسلسله المكون من أربع قواعد فقط، مكررة مرارًا وتكرارًا، ليكون حاملًا لكل هذه المعلومات الوراثية. ظن البعض أن الوراثة يجب أن تُنقل بواسطة البروتينات المتغيرة للغاية في النواة، وأن الحمض النووي كان مجرد هيكل ممل ورتيب يدعمها. لكننا الآن نُدرك أن الحمض النووي هو مثال بارز على كيفية صنع مجموعة كبيرة من الهياكل المعقدة من مجموعة صغيرة من المكونات الأبسط. الشفرة الوراثية هي نظام يمكّن هذه النيوكليوتيدات الأربعة من ترميز تسلسلات الأحماض الأمينية لجميع البروتينات.

ليس من غير المألوف أن تمثل الشفرات البسيطة معلومات معقدة. تخزن الحواسيب وتنقل معلومات معقدة، بما في ذلك الصور والأصوات، في شفرة ثنائية تحتوي فقط على الرمزين 1 و0. لذلك، لا ينبغي أن يكون مفاجئًا أن 20 حمضًا أمينيًا فقط يمكن تمثيلها بشفرة من 4 نيوكليوتيدات؛ كل ما يتطلبه الأمر هو دمج هذه الرموز بطرق مختلفة. يتطلب الأمر أكثر من نيوكليوتين لترميز كل حمض أميني، لأن A وU وC وG في mRNA يمكن أن تتحد فقط في 16 زوجًا مختلفًا (AA, AU, AC, AG, UA, UU، وهكذا). الحد الأدنى للشفرة لتمثيل 20 حمضًا أمينيًا هو 3 نيوكليوتيدات لكل حمض أميني، وهذا هو الحال بالفعل في الحمض النووي. تسلسل من 3 نيوكليوتيدات في الحمض النووي يمثل حمضًا أمينيًا واحدًا يسمى ثلاثي القواعد. عندما يُنتج الحمض النووي الرسول، يحمل رسالة مشفرة بناءً على هذه الثلاثيات في الحمض النووي. تسلسل مكون من 3 قواعد في mRNA يسمى كودون. تُعبّر الشفرة الوراثية بمصطلحات الكودونات.

الجدول 4.2 يعرض بعض الأمثلة التوضيحية لكيفية ارتباط ثلاثيات الحمض النووي بكودونات mRNA وكيف ترتبط هذه بدورها بالأحماض الأمينية للبروتين (انظر الملحق D للشفرة الوراثية الكاملة). يمكنك أن ترى من الجدول أن أحيانًا كودونين أو أكثر يمثلون نفس الحمض الأميني. السبب في ذلك سهل التفسير رياضيًا. أربعة رموز (N) تؤخذ ثلاثيًا في كل مرة

الجدول 4.2	أمثلة على الشفرة الوراثية*		
اختصار الحمض الأميني	اسم حمض أميني	كودون الحمض النووي الريبوزي	ثلاثي القواعد الحمض النووي الريبوزي منقوص الأكسجين
جلي	جليسين	GGA	CCT
جلي	جليسين	GGU	CCA
جلي	جليسين	GGG	CCC
الا	الانين	GCU	CGA
الا	الانين	GCA	CGT
ثر	ثريونين	ACC	TGG
ثر	ثريونين	ACG	TGC
هيس	هيستيدين	CAU	GTA
Met	ميثيونين	AUG	TAC

للحصول على الشفرة الوراثية الكاملة، انظر الملحق د.



الشكل 4.6 القص البديل لـ mRNA. من خلال ربط تركيبات مختلفة من الإكسونات من نسخة أولية واحدة من mRNA، يمكن للخلية توليد بروتينات متعددة من جين واحد.

الجزيء، الذي عادةً ما يغادر النواة بعد ذلك. قد يساعدك ذلك في تذكر هذه إذا فكرت في إزالة introns أثناء بقائها *in* في النواة و exons يتم تصديرها *ex* من النواة لتخضع للترجمة في السيتوبلازم. لا تعتبر introns عديمة الفائدة تمامًا، بل ترمز لمجموعة متنوعة من ncRNAs التنظيمية.

من خلال آلية تسمى *alternative splicing*، يمكن لجين واحد أن يرمز لأكثر من بروتين واحد. افترض أن جينًا أنتج pre-mRNA يحتوي على ستة exons مفصولة بـ introns غير مشفرة. كما هو موضح في الشكل 4.6، يمكن ربط هذه exons معًا بتراكيب مختلفة لإنتاج شفرات لبروتينين أو أكثر. هذا تفسير جزئي لكيفية قدرة الجسم على إنتاج ملايين البروتينات المختلفة بأكثر من 22,000 جين فقط.

الترجمة

تمامًا كما قد نترجم عملاً من الإسبانية إلى الإنجليزية، تقوم الترجمة الوراثية بتحويل لغة النوكليوتيدات إلى لغة الأحماض الأمينية. يتم تنفيذ هذه المهمة بواسطة المشاركين التاليين:

1. الحمض النووي الريبوزي المرسال (mRNA)، الذي يحمل الشفرة الجينية من النواة إلى السيتوبلازم. أثناء تصنيعه في النواة، يكتسب mRNA غطاءً بروتينيًا يعمل كجواز سفر، يسمح له بالمرور عبر مسام نووية إلى السيتوسول. كما يعمل الغطاء كموقع تعرف يخبر الريبوسوم أين يبدأ الترجمة.

2. الحمض النووي الريبوزي الناقل (tRNA)، وهو حمض نووي ريبوزي صغير نسبيًا وظيفته ربط حمض أميني حر في السيتوسول وتسليمه إلى الريبوسوم ليُضاف إلى سلسلة البروتين المتنامية. الـ tRNA هو جزيء أحادي السلسلة يلتف ويتكور على نفسه ليشكل شكلًا زاويًا L (الشكل 4.7). واحد



الشكل 4.7 الحمض النووي الريبوزي الناقل (tRNA).

)هذا هو الوضع الموضح في الشكل.(ينقل الريبوسوم Al—Met
a إلى His، ويخلق رابطة ببتيدية أخرى، ونحصل
الآن على ثلاثي ببتيد، Met—Ala— His. من خلال تكرار
هذه العملية، يتم إنتاج بروتين أكبر وأكبر. مع استطالة البرو
تين، يطوى إلى شكله ثلاثي الأبعاد.

في كل مرة يغادر فيها رنا ناقل موقع E، يذهب لالتقاط
حمض أميني آخر من مجموعة الأحماض الأمينية الحرة في
السيتوسول. تُستخدم جزيئة ATP واحدة في ربط الحمض الأميني
برنا الناقل؛ لذلك، يستهلك تخليق البروتين جزيئة ATP واحدة
لكل حمض أميني يُضاف إلى السلسلة.
جميع البروتينات الجديدة، كما نرى، تبدأ بحمض
الميثيونين الأميني، الذي يحمله رنا الناقل البادئ.
ومع ذلك، غالبًا ما يتم قطعه في المعالجة اللاحقة،
لذا لا يبدأ كل بروتين مكتمل بالميثيونين.
ترابط الكودون-الأنتيكودون أقل دقة مما هو موضح
فقط؛ فهو يتحمل بعض الأخطاء، خاصة في القاعدة الثالثة من ا
لكودون. لذلك، لا يُعتبر UGC بالضرورة الأنتيكودون الوحيد الذ
ي يمكن أن يرتبط بـ ACG. بسبب هذه عدم الدقة أو "التذبذ
ب" في النظام، هناك حاجة إلى 48 نوعًا فقط من tRNA ل
لارتباط مع 61 كودونًا تمثل الأحماض الأمينية.

3 الإنهاء. عندما يصل الريبوسوم إلى كودون التوقف، يرتبط موقع
A الخاص به ببروتين يُسمى *عامل الإطلاق* بدلاً
من tRNA. يتسبب عامل الإطلاق في انفصال البروتين المكتمل
عن الريبوسوم. ثم ينفصل الريبوسوم إلى وحدتيه الفرعيتين
، ولكن بما أن هاتين الوحدتين الآن قريبتان جدًا من تسلسل ال
قائد الخاص بـ mRNA، غالبًا ما يعاد تجميعهما على نفس الـ m
RNA وتكرار العملية، مما ينتج نسخة أخرى من نف
س البروتين.

4 صنع البروتينات للتغليف أو التصدير. إذا كان من المقرر تغليف ا
لبروتين داخل الليسوسوم أو إفرازه من الخلية)مثل إنزيم هضم
ي(، يرتبط الريبوسوم بالشبكة الإندوبلازمية الخشنة ويتدفق ا
لبروتين الجديد إلى حجرة الشبكة الإندوبلازمية بدلاً من السي
توسول. تقوم الشبكة الإندوبلازمية بتعديل هذا البروتين وتغ
ليفه في الحويصلات الناقلة التي سنستعرض مصيرها لاحقًا.

يمكن لريبوسوم واحد أن يعمل بسرعة كبيرة، مضيفًا حوالي اثنين
إلى ستة أحماض أمينية في الثانية. تستغرق معظم البروتينات من 2
0 ثانية إلى عدة دقائق للصنع. لكن الريبوسوم لا يعمل بمفرده في هذه
المهمة. بعد أن يتحرك ريبوسوم واحد بعيدًا عن تسلسل القائد، غالبًا
ما يرتبط آخر هناك ويبدأ العملية، متتبعًا الأول—ثم آخر وآخر، بحيث
يُترجم mRNA واحد عادةً بواسطة 10 أو 20 ريبوسومًا في آن واحد. يُ
سمى هذا التجمع من الريبوسومات، التي تترجم نفس الـ mRNA، م
تعدد الريبوسومات)انظر الصورة في صفحة افتتاح هذا الفصل(. كلما
تقدم الريبوسوم على طول الـ mRNA، أصبح البروتين الناتج أطول. لا
يُترجم كل mRNA فقط بواسطة كل هذه الريبوسومات في نفس الوق
ت، بل قد تحتوي الخلية على 300,000 جزيء mRNA متطابق، يُترج
م كل منها في الوقت نفسه بواسطة حوالي 20 ريبوسومًا. مع وجود ه
ذا العدد الكبير من "عمال المصنع" الذين يؤدون نفس المهمة، قد تن
تج الخلية أكثر من 100,000 جزيء بروتين في الثانية—مصنع منتج
بشكل مذهل! يشكل الريبوسوم حوالي 25% من الوزن الجاف لخلايا ا
لكبد، التي تنشط بشدة في تخليق البروتين.

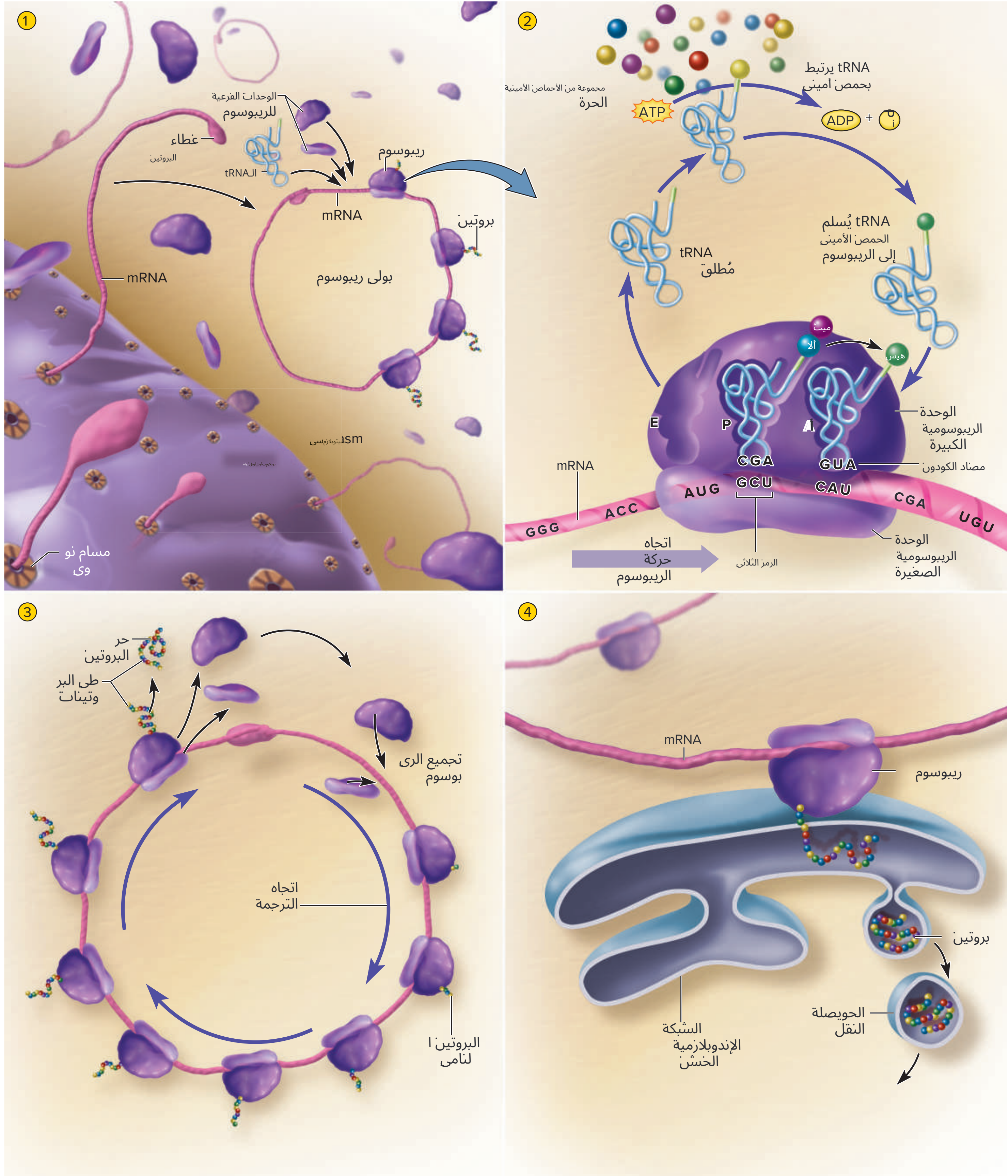
حلقة الجزيء تشمل مضاد الكودون، وهي سلسلة من ثلاثة
نيوكليوتيدات مكملة لكودون محدد في الحمض النووي الرى
بوزي الرسول)mRNA(. على سبيل المثال، للكودون AUG،
يكون مضاد الكودون هو UAC. الطرف الآخر من tRNA يحتو
ي على نهاية استقبال الحمض الأميني ترتبط بحمض أميني مح
دد يتوافق مع ذلك الكودون. أول tRNA يرتبط بالريبوسوم ف
ي بداية الترجمة يسمى *tRNA البادئ*. يحتوي دائمًا على
مضاد الكودون UAC ويحمل دائمًا حمض الميثيونين الأم
يني.

3. الريبوسومات، "آلات القراءة" الصغيرة الموجودة في السيتوسول
وعلى السطح الخارجي للشبكة الإندوبلازمية الخشنة وغلاف النواة.
الريبوسومات غير النشطة توجد في السيتوسول على شكل قطعتين—
وحدة فرعية صغيرة ووحدة فرعية كبيرة. كل منهما يتكون من
عدة إنزيمات وجزيئات الحمض النووي الريبوزي الريبوسومي)rRNA(.
تتجمع الوحدتان الفرعيتان معًا فقط عند ترجمة mRNA.
لدى الريبوسوم ثلاث جيوب تعمل كمواقع ارتباط لـ
RNA الناقل)tRNA(. خلال عملية الترجمة، يرتبط الRNA الناقل عادةً أولاً
بالموقع *A* على أحد جانبي الريبوسوم، ثم ينتقل إلى
موقع P في الوسط، وأخيرًا إلى *موقع E* على الجانب الآخر.
لتذكر ترتيب هذه المواقع، قد يساعدك التفكير في *A* للموقع الذ
ي يقبل حمضًا أمينيًا جديدًا؛ *P* للموقع الذي يحمل البروتين ا
لنامي؛ و*E* للخروج.(في الواقع تعني مواقع *A* و*P* *aminoacyl* و*peptidyl*

تحدث الترجمة في ثلاث خطوات تسمى *البدء*،
الاستطالة، و*الإنهاء*. تظهر هذه في الشكل 4.8،
الألواح 1 إلى 3؛ اللوح 4 يوضح جانبًا إضافيًا من
إنتاج البروتينات المخصصة للتعبئة في الجسيمات الحالة
أو الحويصلات الإفرازية.

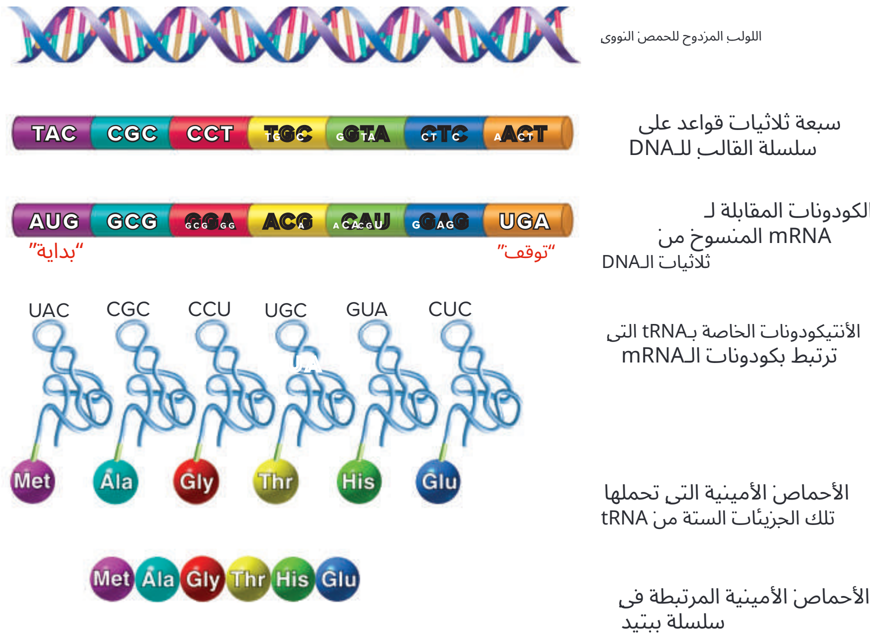
1 البدء. يمر الرنا المرسال)mRNA(عبر مسام نووية إلى
السيتوسول ويشكل حلقة. يرتبط الوحدة الفرعية الصغيرة للريبوسوم \
بتسلسل القائد)leader sequence(من القواعد على الرنا المرسال بالقرب من الغطاء،
ثم ينزلق على طول الرنا المرسال حتى يتعرف على كودون البدء AUG.
يرتبط رنا ناقل)tRNA(بادئ مع مضاد الكودون UAC
مع كودون البدء ويستقر في موقع P)الوسط(
في الريبوسوم مع حمولة الميثيونين)Met(.
تنضم الوحدة الفرعية الكبيرة للريبوسوم بعد ذلك إلى المركب.
يحتضن الريبوسوم المجمع الآن الرنا المرسال في
أخدود بين الوحدات الفرعية ويبدأ بالانزلاق عليه،
قارئًا قواعده.

2 الاستطالة. يصل رنا ناقل tRNA التالي، حاملاً حمضًا أمينيًا آخر؛
يرتبط بموقع A في الريبوسوم ويتزاوج مضاد الكودون الخاص
به مع الكودون الثاني للرنا المرسال—GCU، على سبيل المثال.
يرتبط هنا رنا ناقل بمضاد الكودون CGA، ووفقًا للشفرة ال
جينية، سيحمل الألانين)Ala(. ينقل إنزيم في الريبوسوم الميثيو
نين من رنا الناقل البادئ إلى الألانين الذي يحمله رنا الناقل ا
لثاني ويخلق رابطة ببتيدية بينهما، مما يعطينا ثنائي ببتيد،
Met— Ala. ينزلق الريبوسوم بعد ذلك لقراءة ال
كودون التالي. هذا يحرك رنا الناقل البادئ)الذي لم يعد يحمل
حمضًا أمينيًا(إلى موقع E، حيث يغادر الريبوسوم. ينتقل رنا
الناقل الثاني)الذي يحمل الآن Met— Ala(إلى موقع P.
يرتبط موقع A الخالي الآن برنا ناقل ثالث. افترض أن الكودون ا
لتالي هو CAU. سيرتبط هنا رنا ناقل بمضاد الكودون GUA،
وسيحمل الهيستيدين)His(.



الشكل 4.8 ترجمة mRNA. اللوحة 1 تُظهر mRNA يخرج من النواة؛ اللوحات 2 إلى 4 تُظهر الأحداث فى السيتوبلازم فقط. راجع النص لمزيد من التفاصيل حول العمليات التى تحدث فى كل خطوة.

لماذا لن تعمل الترجمة إذا كان بإمكان الريبوسومات ربط tRNA واحد فقط فى كل مرة؟



الشكل 4.9 علاقة تسلسل قواعد الحمض النووى ببنية الببتيد.

الشكل 4.9 يلخص النسخ والترجمة و
يُظهر كيف تترجم تسلسلات النوكليوتيدات إلى ببتيد افتراضى
مكون من 6 أحماض أمينية. يبلغ متوسط طول البروتين حوالى 400 حمض أمينى
؛ ويجب تمثيله، على الأقل، بتسلسل
مكون من 1203 نوكليوتيد)3 لكل حمض أمينى، بالإضافة إلى كودون التوقف(.

4.2د معالجة البروتين وإفرازه

لا تنتهى عملية تخليق البروتين بمجرد تجميع تسلسل الأحماض الأمي
نية)التركيب الأولى(. لكى يكون وظيفيًا، يجب أن يلتف أو يطوى إلى
تراكيب ثانوية وثالثية دقيقة؛ وفى بعض الحالات، يرتبط بسلاسل برو
تينية أخرى)التركيب الرباعى(أو يرتبط بمادة غير بروتينية مثل فيتامى
ن أو كربوهيدرات. أثناء تجميع البروتين الجديد بواسطة الريبوسوم، غا
لبًا ما يرتبط ببروتين قديم يُسمى المرافق)chaperone(. يقوم المرا
فق بتوجيه البروتين الجديد للطى بالشكل الصحيح ويساعد فى منع ا
لارتباطات غير الصحيحة بين البروتينات المختلفة. كما فى المعنى الع
ام للكلمة، المرافق هو بروتين قديم يرافق وينظم سلوك "الصغار". بع
ض المرافقين يُطلق عليهم أيضًا *بروتينات الإجهاد* أو بروتينات الصد
مة الحرارية لأنها تُنتج استجابةً للحرارة أو إجهادات أخرى على الخلية و
تساعد البروتينات التالفة على الطى مرة أخرى إلى أشكالها الوظيفية ا
لصحيحة.

إذا كان من المقرر استخدام البروتين فى السيتوسول)على سبيل المثا
ل، إنزيمات التحلل السكرى(، فمن المحتمل أن يُصنع بواسطة الريبوسومات
الحرة فى السيتوسول. ومع ذلك، إذا كان من المقرر تعبئته فى الليسوسوم أ
و إفرازه من الخلية)على سبيل المثال، الإنسولين(، فإن كامل الريبوسومات ا
لمتعددة ينتقل إلى الشبكة الإندوبلازمية الخشنة ويرسو على سطحها.
يُستكمل تجميع سلسلة الأحماض الأمينية بعد ذلك على الشبكة الإند
وبلازمية الخشنة، ويتم إرسال البروتين إلى مجمع جولجى لإجراء التعد
يلات النهائية. لذلك، نتنقل إلى وظائف الشبكة الإندوبلازمية ومجمع
جولجى فى معالجة وإفراز البروتين. قارن الوصف التالى مع الشكل 4.
10.

1 أثناء تجميع البروتين على سطح الشبكة الإندوبلازم
ية، يمر عبر مسام فى غشاء الشبكة الإندوبلازم
ية ويدخل إلى الحويصلة. تقوم الإنزيمات فى
الحويصلة بتعديل البروتين الجديد بطرق متنوع
ة—إزالة بعض مقاطع الأحماض الأمينية، طى ا
لبروتين وتثبيته بجسور ثنائية الكبريتيد، إضافة ال
كربوهيدرات، وما إلى ذلك.
تُسمى هذه التغيرات بالتعديل بعد الترجمة
على سبيل المثال، يتم أولاً تخليق الإنسولين كبرو
تين مكون من 86 حمضًا أمينيًا. فى التعديل
بعد الترجمة، يطوى السلسلة على نفسها، وتتكو
ن 3 جسور ثنائية الكبريتيد، ويتم إزالة 35 حمضًا
أمينيًا من منتصف البروتين. لذلك، تتكون جزيئة
الإنسولين النهائية من سلسلتين تحتويان على 21
و30 حمضًا أمينيًا مرتبطة معًا بواسطة جسور ثنا
ئية الكبريتيد)انظر الشكل 2.25(.

2 عندما ينتهى الشبكة الإندوبلازمية الخشنة من معالجة البروتين، تقوم
بقطع حويصلات نقل شبيهة بالفقاعات مغطاة
ببروتين يُسمى *الكلاترين*. يبدو أن الكلاترين
يساعد فى اختيار البروتينات التى سيتم نقلها داخل
الحويصلات، وكقفص يشبه السلة، يساعد فى
تشكيل الحويصلات المتكونة. بعد وقت قصير من انفصال الحويصلات
عن الشبكة الإندوبلازمية، تندمج لتشكل تجمعات غير منتظمة الشكل
تحمل حمولتها إلى مجمع جولجى.

3 عندما تصل هذه التجمعات إلى المجمع، تندمج وتشكل
حويصلة جولجى جديدة، تُسمى *السيس*[3] الحويصلة لأنها
الأقرب إلى الشبكة الإندوبلازمية.

4 تهاجر هذه الحويصلة الجديدة عبر المجمع نحو
الوجه المقابل)*الترانس*(. تنضج أثناء تنقلها، منتجة
إنزيمات جديدة تعدل الحمولة بطرق مختلفة. على سبيل المثال،
قد تضيف سلاسل كربوهيدرات إلى البروتينات، منتجة
الجليكوبروتينات المذكورة فى الفصل 2. هرمون تحفيز الغدة الدر
قية هو أحد هذه الجليكوبروتينات التى تُصنع بهذه الطريقة.

5 أخيرًا، *الحويصلة الترانس*[4] — وهى الأبعد عن
الشبكة الإندوبلازمية — تتحلل إلى حويصلات جولجى محملة بمنتج الخلية.

6 بعض حويصلات جولجى تتحول إلى ليسوسومات، بينما تتحول
أخرى إلى حويصلات إفرازية تهاجر إلى غشاء البلازما وتندمج م
عه، مطلقة منتج الخلية عن طريق الإفراز الخلوى. هذه هى الط
ريقة التى تفرز بها خلية الغدة اللعابية، على سبيل المثال، ال
مخاط والإنزيمات الهضمية، وكيف تفرز خلية الغدة النخامية هرم
ون تحفيز الغدة الدرقية.

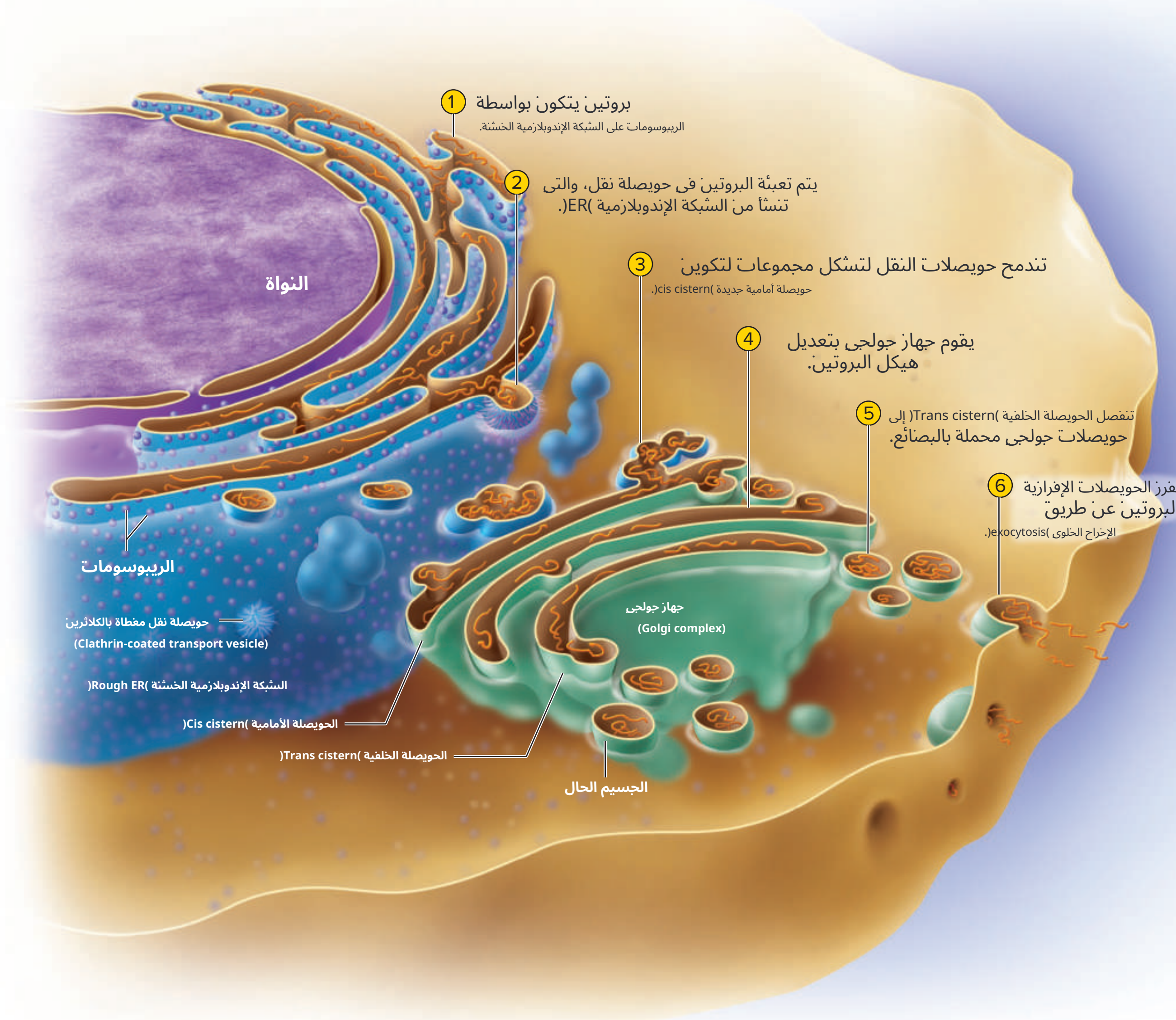
الجدول 4.3 يلخص الوجهات والوظائف المتنوعة
للبروتينات التى تم تصنيعها حديثًا.

4.2e تنظيم الجينات

الجينات لا تنتج منتجاتها ببساطة بوتيرة ثابتة ومتواصلة، مثل مصنع
تصنيع يعمل على مدار 24 ساعة دون توقف. إنها

---

[3] cis = على نفس الجانب
[4] trans= مقابل



الشكل ٤.١ • معالجة البروتين وإفرازه. راجع النص لمزيد من الشرح للخطوات المرقمة.

البروتينات)أمثلة(	الوجهة أو الوظيفة
الجدول 4.3	**بعض الوجهات ووظائف البروتينات المصنعة حديثًا**
البروتينات)أمثلة(	**الوجهة أو الوظيفة**
الأكتين في الهيكل الخلوي؛ الكيراتين في البشرة	تُودع كبروتين هيكلي داخل الخلايا
ATPase؛ كينازات	تُستخدم في السيتوسول كإنزيم أيضي
الهستونات في الكروماتين؛ RNA بوليميراز	تُعاد إلى النواة للاستخدام في الأيض النووي
العديد من الإنزيمات ال ليزوزومية	معبأة في الجسيمات الحالة للالتهام الذاتي، الهضم داخل الخلايا، ووظائف أخرى
الكاتالاز في البيروكسيسومات؛ إنزيمات الميتوكوندريا	يتم توصيلها إلى عضيات أخرى لاستخدام داخل الخلية
مستقبلات الهرمونات؛ مضخات الصوديوم والبوتاسيوم	يتم توصيلها إلى غشاء البلازما لتأدية وظائف النقل ووظائف أخرى
إنزيمات هضمية؛ الكازين في حليب الثدي	تُفرز عن طريق الإخراج الخلوي لوظائف خارج الخلية

يتم تشغيلها وإيقافها من يوم لآخر، وحتى من ساعة لأخرى، حسب ال حاجة إلى منتجاتها أو عدمها، والعديد من الجينات تكون مغلقة بشكل دائم في أي خلية معينة. على سبيل المثال، جينات الهيموغلوبين وا لإنزيمات الهضمية موجودة لكنها غير نشطة في خلايا الكبد وخلايا الح لد.

هناك عدة طرق لتشغيل أو إيقاف الجينات. لا يمكننا النظر في ح ميعها هنا، لكن يمكن لمثال أن ينقل المبدأ العام. فكر في امرأة أنجب ت طفلها الأول للتو.

في الأيام التالية، يقوم هرمون *البرولاكتين* بتحفيز خلايا الغدد الثديية لديها لتخليق المكونات المختلفة لحليب الثدي، بما في ذلك البروتين *الكازين*—وهو شيء لم يُنتجه جسدها من قبل. كيف يتم تشغيل جي ن الكازين في هذه المرحلة من حياتها؟ الشكل 4.11 يوضح الخطو ت التي تؤدي من تحفيز البرولاكتين إلى إفراز الكازين.

يقوم آخرون بتعديل لفّ الحمض النووي في النوكليوسوم بطريقة تجعل جينات معينة أكثر سهولة للوصول إليها بواسطة إنزيم بوليميراز الرنا. لإيقاف تشغيل جين، يمكن لبروتين تنظيمي أو RNA غير مشفر (ncRNA) أن يلف الكروماتين بطريقة مختلفة تجعل الجين أقل وصولاً، مما يمنع النسخ. نقل الكروماتين إلى الغشاء النووي هو طريقة أخرى لكتم بعض جيناته. هناك عدة طرق إضافية، تتجاوز نطاق هذا الكتاب، لتحفيز أو إيقاف إنتاج منتج جيني، لكن مثال الكازين يوضح كيف يمكن لجين معين أن يبقى خاملاً في الشخص حتى يتم تنشيطه فقط عدة مرات في الحياة (وفقط إذا أنجب الشخص أطفالاً)، عن طريق محفز مثل إشارة هرمونية. القسم ٤.٤ح يصف جانباً إضافياً من تنظيم الجينات يسمى *الوراثة فوق الجينية (epigenetics)*.

٤.٢ف تركيب مركبات أخرى غير البروتينات

تصنع الخلايا، بالطبع، أكثر من البروتينات—فهي تصنع أيضاً الجليكوجين، والدهون، والستيرويدات، والفوسفوليبيدات، والأصباغ، والعديد من المركبات الأخرى. لا توجد جينات لهذه المنتجات الخلوية، ومع ذلك فإن تركيبها يخضع لسيطرة جينية غير مباشرة. كيف؟ تُنتج هذه المركبات عن طريق تفاعلات إنزيمية، والإنزيمات هي بروتينات مشفرة بواسطة الجينات.

خذ على سبيل المثال إنتاج التستوستيرون (الشكل ٢١.٤). هذا ستيرويد؛ لا يوجد جين للتستوستيرون. ولكن لصنعه، تأخذ خلية من الخصية الكوليسترول وتحوله إنزيمياً إلى التستوستيرون. يمكن أن يحدث هذا فقط إذا كانت الجينات المسؤولة عن الإنزيمات نشطة. ومع ذلك، فإن دلالة أخرى لهذا هي أن الجينات قد تؤثر بشكل كبير على نتائج معقدة مثل السلوك، حيث يؤثر التستوستيرون بقوة على سلوكيات مثل العدوان والدافع الجنسي. باختصار، يشفر الحمض النووي فقط لصنع الرنا والبروتين، لكنه يتحكم بشكل غير مباشر في تركيب مجموعة أوسع بكثير من المواد المتعلقة بجميع جوانب التشريح، والفسيولوجيا، والسلوك.

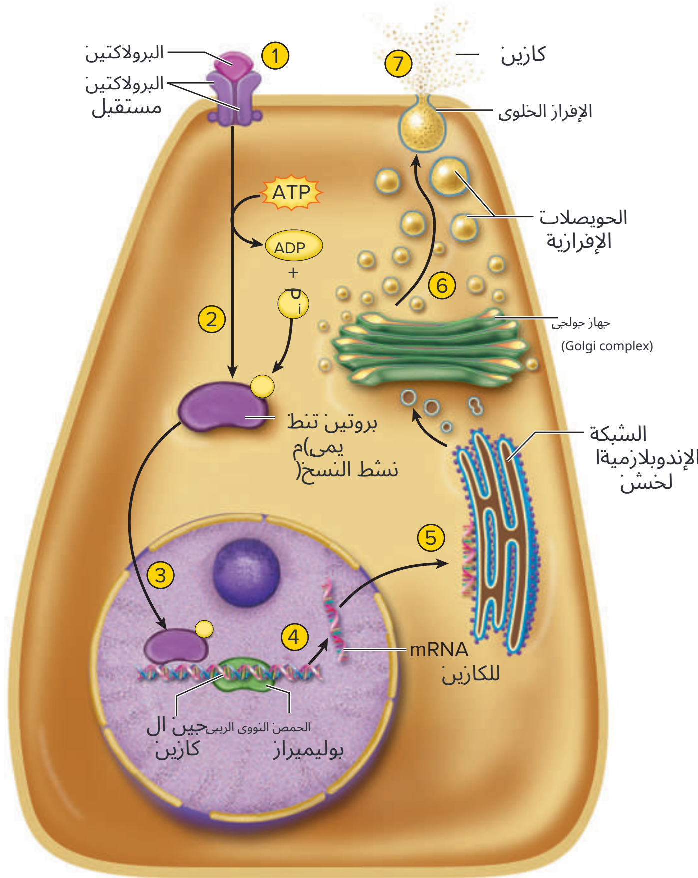
قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

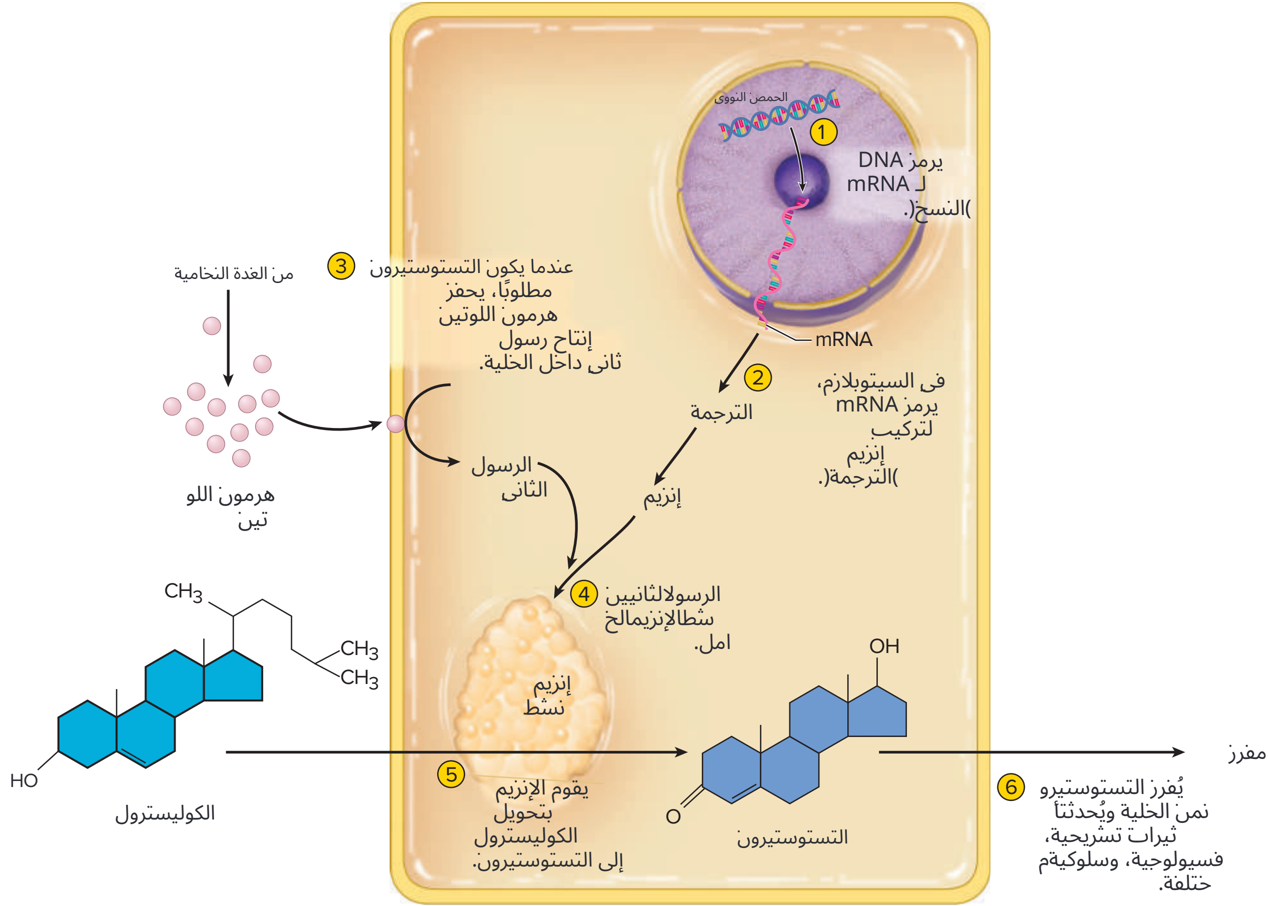
5. عرّف الجين، الشفرة الوراثية، الكودون، و الأنتيكودون.
6. صف أدوار إنزيم RNA بوليميراز، الريبوسومات، و RNA الناقل (tRNA) في إنتاج البروتين.
7. ما الفرق بين النسخ الوراثي والترجمة؟
8. لخص معالجة البروتين من الوقت الذي ينهي فيه الريبوسوم عمله حتى الوقت الذي يُفرز فيه البروتين من الخلية. ما الأدوار التي يلعبها الشبكة الإندوبلازمية \وجهاز جولجي في ذلك؟
9. صف بعض الطرق التي يمكن من خلالها تشغيل أو إيقاف جين في أوقات مختلفة من حياة الشخص.
10. بالنظر إلى أن الجينات يمكن أن ترمز فقط إلى RNA أو بروتينات، كيف يمكن أن يكون تخليق المواد غير البروتينية مثل الكربوهيدرات أو الستيرويدات تحت السيطرة الوراثية؟

1. يرتبط البرولاكتين بمستقبله، وهو زوج من البروتينات في غشاء البلازما لخلية غدة الثدي.
2. يقوم المستقبل بتحفيز تنشيط بروتين تنظيمي (منشط النسخ) في السيتوبلازم.
3. ينتقل البروتين التنظيمي إلى النواة ويرتبط بالحمض النووي القريب من جين الكازين.
4. يُمكّن هذا الارتباط بوليميراز RNA من الارتباط بالجين و نسخه، مما ينتج mRNA للكازين.
5. ينتقل mRNA الكازين إلى السيتوبلازم ويتم ترجمته بواسطة الريبوسومات على الشبكة الإندوبلازمية الخشنة.
6. يقوم جهاز جولجي بتعبئة الكازين في الحويصلات الإفرازية.
7. تفرز الحويصلات الإفرازية الكازين عن طريق الإفراز الخلوي، ويصبح جزءًا من الحليب.

في الخطوة 4، هناك عدة طرق يمكن للبروتينات التنظيمية تنشيط نسخ الجين من خلالها. بعض هذه الطرق تجذب وتوضع بوليميراز RNA بحيث يمكنه بدء نسخ الجين.



الشكل ١١.٤ آلية تنشيط الجين. هرمون البرولاكتين يحفز تفاعلات داخل الخلية تؤدي إلى تنشيط بروتين تنظيمي وتؤدي في النهاية إلى إفراز الكازين. راجع النص لمزيد من الشرح للخطوات المرقمة.



الشكل 4.12 التحكم غير المباشر فى تخليق التستوستيرون بواسطة DNA.لا يوجد جين للتستوستيرون، لكن DNA ينظم إنتاجه عن طريق ترميز الإنزيمات التى تحول الكوليسترول إلى التستوستيرون.

تكرار الحمض النووى ودورة الخلية 4.3

النتائج التعليمية المتوقعة

عندما تكمل هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف كيفية تكرار الحمض النووى؛

ب. مناقشة عواقب أخطاء التكرار؛

ج. وصف تاريخ حياة الخلية، بما فى ذلك أحداث الانقسام الخيطى)ميتوزيس(؛ و

د. شرح كيفية تنظيم توقيت انقسام الخلية.

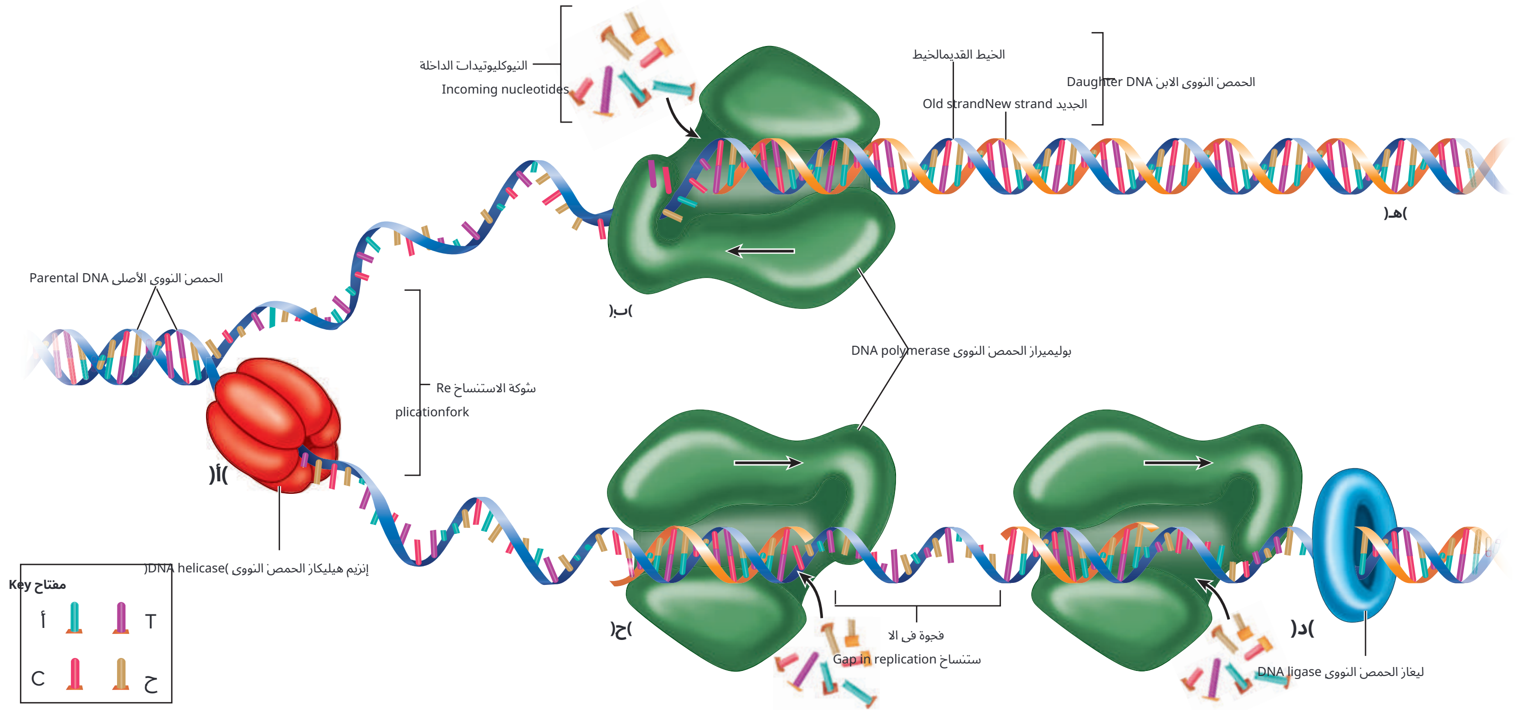
قبل أن تنقسم الخلية، يجب أن تكرر حمضها النووى حتى تتمكن من إعطاء نسخ كاملة ومتطابقة من جميع جيناتها لكل خلية ابنة. نظرًا لأن الحمض النووى يتحكم فى جميع وظائف الخلية، يجب أن تكون عملية التكرار هذه دقيقة جدًا. سنستعرض الآن كيفية إنجازها ونظر فى عواقب الأخطاء.

4.3أ تكرار الحمض النووى

يُظهر قانون التزاوج التكميلى للقواعد أنه يمكننا التنبؤ بتسلسل القواعد فى أحد خيوط الحمض النووى إذا عرفنا تسلسل الخيط الآخر. والأهم من ذلك، أنه يمكن الخلية من إعادة إنتاج خيط واحد بناءً على المعلومات فى الخيط الآخر. الخطوات الأساسية لعملية التكرار هى كما يلى)الشكل 4.13(:

1. تتفكك اللولب المزدوج من الهيستونات.
2. مثل سحاب، يفتح إنزيم يسمى **DNA helicase** جزءًا قصيرًا واحدًا من اللولب فى كل مرة، كاشفًا عن قواعده النيتروجينية. النقطة التى يُفتح فيها الـ DNA، مثل نصفى السحاب اللذين ينفصلان، تُسمى شوكة النسخ.
3. تتحرك جزيئات إنزيم **DNA polymerase** على طول كل شريط، تقرأ القواعد المكشوفة، وكوسيط زواج، ترتب "زيجات" مع النوكليوتيدات الحرة المكملة. إذا وجد البوليميراز التسلسل TCG، على سبيل المثال، فإنه يجمع AGC مقابله. يتم نسخ الشريطين المنفصلين من الـ DNA بواسطة جزيئات بوليميراز منفصلة، تتقدم فى اتجاهين متعاكسين. على أحد الشرائط)أعلى الشكل 4.13(، يتحرك البوليميراز نحو شوكة النسخ ويصنع شريطًا جديدًا وطويلًا ومتصلًا من الـ DNA ليكمل القديم. على الشريط الآخر)أسفل الشكل(، يتحرك بوليميراز آخر بعيدًا عن شوكة النسخ وينسخ فقط جزءًا قصيرًا من الـ DNA فى كل مرة. ثم تُربط الأجزاء معًا بواسطة إنزيم آخر يسمى **DNA ligase.**

فى النهاية، من جزيء DNA الوالد القديم، يتم صنع جزيئين جديدين من DNA الابن. كل جزيء DNA ابن



الشكل ٣١.٤ الاستنساخ النصفي للحمض النووي DNA.)أ(عند شوكة الاستنساخ، تقوم هيليكاز الحمض النووي بفك اللولب المزدوج وكشف القواعد. تبدأ بوليميرات الحمض النووي بتجميع قواعد جديدة مقابلة للقواعد الموجودة.)ب(على أحد الخيوط، تتحرك بوليميرات الحمض النووي نحو شوكة الاستنساخ و تُكوّن خيطًا جديدًا طويلًا ومستمرًا من الحمض النووي.)ح(على الخيط الآخر، تبدأ بوليميرات الحمض النووي عند الشوكة وتتحرك بعيدًا عنها، مستنسخة الحمض النووي في مقاطع قصيرة مع وجود فجوات بينها.)د(تقوم ليغاز الحمض النووي بإغلاق الفجوات لربط المقاطع معًا في لولب مزدوج مستمر.)هـ(النتيجة ا لنهائية هي لولبان مزدوجان من الحمض النووي، كل منهما يتكون من خيط واحد من الحمض النووي الأصلي وخيط واحد جديد مُركب.

إزالة C واستبدالها بـ T. ونتيجة لذلك، يبقى خطأ واحد فقط لكل مليار زوج قاعدي يتم تكراره — وهو مستوى عالٍ جداً من دقة التكرار، إن لم يكن خالياً تماماً من الأخطاء.

التغيرات في بنية DNA، التي تُسمى الطفرات)mutations(٥، يمكن أن تنتج عن أخطاء التكرار أو عن عوامل بيئية مثل الإشعاع، الم واد الكيميائية، والفيروسات. يمكن أن تنتقل الطفرات غير المصححة إلى نسل تلك الخلية، لكن العديد منها لا يؤثر سلباً. أحد الأسباب هو أ ن تسلسل القواعد الجديد قد يشفر أحياناً لنفس الشيء الذي كان ي شفره القديم. على سبيل المثال، TGG وTGC كلاهما يشفران للثريون ين)انظر الجدول ٢.٤(، لذا فإن طفرة من G إلى C في الموضع الثالث قد لا تغير بالضرورة بنية البروتين. سبب آخر هو أن التغير في بنية ال بروتين ليس دائماً حاسماً لوظيفته. على سبيل المثال، سلسلة بيتا لل هيموغلوبين تتكون من ١٤٦ حمضاً أمينياً في كل من البشر والخيول، لكن ٢٥ من هذه الأحماض تختلف بين النوعين. ومع ذلك، فإن الهيم وغلوبين يعمل بشكل كامل في كلا النوعين.

علاوة على ذلك، نظرًا لأن 98٪ من الحمض النووي لا يشفر لأي بروتينات، فإن الغالبية العظمى من الطفرات لا تؤثر على بنية البروتين على الإطلاق. ومع ذلك، قد تؤدي طفرات أخرى إلى موت الخلية، أو تحولها إلى خلية سر طانية، أو تسبب عيوبًا جينية في الأجيال القادمة. على سبيل المثال، عندم ا تغير طفرة الحمض الأميني السادس في بيتا-الهيموغلوبين من حمض ا لجلوتاميك إلى فالين، تكون النتيجة مرضًا معوقًا يسمى مرض الخلايا الم نجلية. من الواضح أن بعض استبدالات الأحماض الأمينية أكثر أهمية من غيرها، وهذا يؤثر على شدة الطفرة. يُعرف أكثر من 30 مرضًا ناتجًا عن عيو ب في استجابة تلف الحمض النووي، بما في ذلك بعض أشكال فقر الدم، والسرطان، ونقص المناعة، وعيوب الدماغ.

يتكون من لولب جديد واحد مُصنّع من نيوكليوتيدات حرة ولولب قديم محفوظ من الحمض النووي الأبوي. لذلك يُسمى العملية بالتكرار نصف المحافظ)semiconservative replication(.

4. بينما يُصنع الحمض النووي في النواة، تُصنع الهيستونات ا لجديدة في السيتوبلازم. يتم نقل ملايين الهيستونات إلى النوا ة خلال دقائق قليلة بعد تكرار الحمض النووي، ويلتف كل لولب DNA جديد حولها لتكوين نيوكليوسومات جديدة.

على الرغم من تعقيد هذه العملية، يعمل كل بوليميراز DNA بمعدل مثير للإعجاب يبلغ حوالي ١٠٠ زوج قاعدي في الثانية. ومع ذلك، حتى بهذا المعدل، سيستغرق بوليميراز واحد أسابيع لتكرار كروموسوم واحد فقط. لكن في الواقع، تعمل آلاف جزيئات البوليميراز في وقت واحد على كل جزيء DNA، ويتم تكرار جميع الكروموسومات الـ ٤٦ في غضون ٦ إلى ٨ ساعات فقط.

٣.٤ب الأخطاء والطفرات

بوليميراز DNA سريع ودقيق، لكنه يرتكب أخطاء. على سبيل المثال، قد يقرأ A ويضع C مقابله حيث كان يجب أن يضع T. إذا لم يتم تصحيح مثل هذه الأخطاء، قد تحتوي كل جيل من الخلايا على آلاف البروتينات الخاطئة، المشفرة بواسطة DN A تم نسخه بخطأ. لمنع هذا الضرر الكارثي للخلايا، ه ناك عدة طرق لتصحيح أخطاء التكرار، تُعرف مجتمعة باسم استجابة تلف الحمض النووي)DDR(. يقوم بوليميراز DNA نفسه بالتحقق الم زدوج من زوج القواعد الجديد ويميل إلى استبدال الأزواج غير الصحيح ة وغير المستقرة كيميائياً بأزواج أكثر استقراراً وصحيحة — على سبيل المثال،

5 muta = تغيير؛ ation = عملية

الطور M هو الطور الانقسامى، حيث تقوم الخلية بتكرار نواتها ثم تنقسم إلى خليتين ابنتين جديدتين. فى الأرومات الليفية المزروعة، ى ستغرق الطور M من ساعة إلى ساعتين. سيتم تناول تفاصيل هذا ال طور فى القسم التالى. الأطوار G_1 وS وG_2 تُسمى مجتمعة الطور ال بينى — وهو الوقت بين أطوار M.

يختلف طول دورة الخلية بشكل كبير من نوع خلية إلى آخر. تنقسم خلايا المعدة والجلد بسرعة، بينما تنقسم خلايا العظا م والغضاريف ببطء. بعض الخلايا تخرج من دورة الخلية لـ " راحة" وتتوقف عن الانقسام لأيام أو سنوات أو لبقية حياة الفرد — مثل الخلايا العصبية الناضجة، وخلايا العضلات الهيكلية، وخلايا الدهون. تُقال هذه الخلايا إنها فى طور G_0(طور G صفر). التوازن بين الخلايا التى تنقسم بنشا ط وتلك التى تبقى فى طور G_0 هو عامل مهم فى تحد يد عدد الخلايا فى الجسم.

عدم القدرة على التوقف عن الانقسام والدخول فى طور G_0 ه و سمة مميزة لخلايا السرطان)انظر التعمق 4.3(.

طبق ما تعرفه

ما هو الحد الأقصى لعدد جزيئات DNA التى يمكن أ ن تحتويها الخلية خلال دورة حياتها؟)افترض أن الخ لية تحتوى على نواة واحدة فقط، وتجاهل DNA الم يتوكوندريا(.

4.3d Mitosis

تنقسم الخلايا بطريقتين تسمى الانقسام الميتوزى والانقسام الاختزالى. ومع ذلك، يقتصر الانقسام الاختزالى على غرض واحد، وهو إنتاج البويضا ت والحيوانات المنوية، ولذلك يُعالج فى الفصل 27 عن التكاثر. أما الانق سام الميتوزى فيخدم جميع الوظائف الأخرى لانقسام الخلايا:

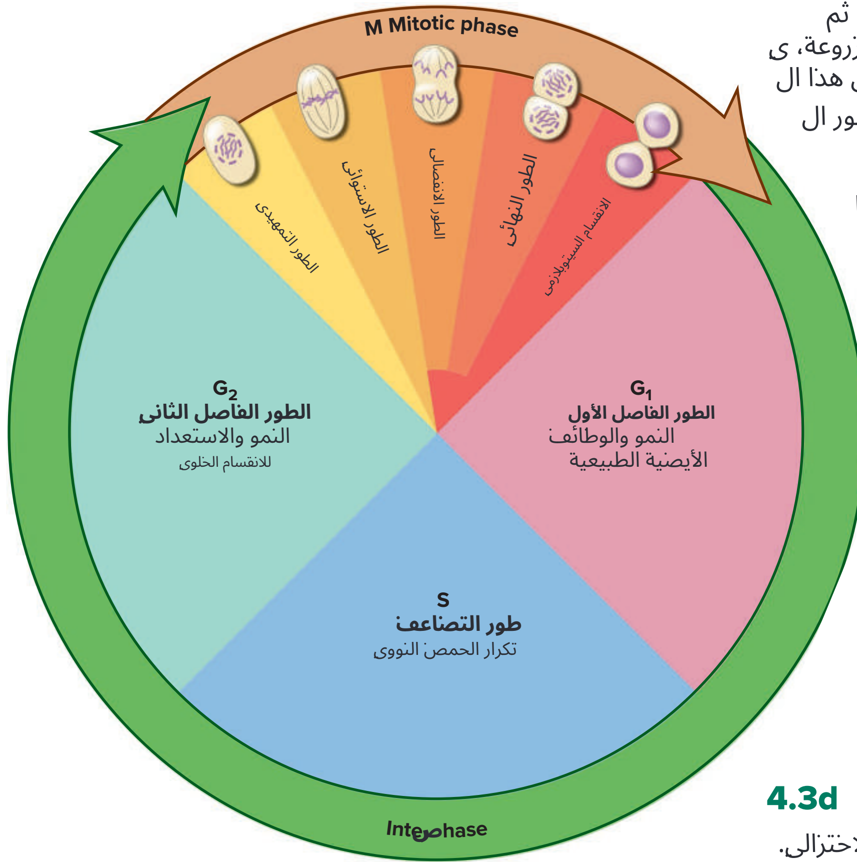
- تطور الفرد، المكون من حوالى 50 تريليون خلية، من بويضة مخ صبة وحيدة الخلية؛
- نمو جميع الأنسجة والأعضاء بعد الولادة؛
- استبدال الخلايا التى تموت؛ و
- إصلاح الأنسجة التالفة.

يمكن التعرف على أربع مراحل للانقسام الخيطى: *الطور التمهيدى، الطور الاستوائى، الطور الانفصالى والطور النهائى)الشكل 4.15(.*

1 الطور التمهيدى.[6] فى بداية الانقسام الخيطى، تقصر وتثخ ن الكروموسومات، وتلتف فى نهاية المطاف إلى قضبان مد مجة تكون أسهل فى التوزيع على الخلايا الابنة مقارنة بالكروما تين الطويل والرقيق فى الطور البينى. هناك 46 كروموسومً ا، كل منها يحتوى على كروماتيدين وجزىء DNA واحد لكل كروم اتيد. يتحلل الغلاف النووى خلال الطور التمهيدى ويطلق الكر وموسومات فى السيتوسول.

تبدأ المريكزات فى إنبات أنابيب دقيقة مطولة تُسمى ألياف المغزل، التى تدفع المريكزات بعيدًا عن بعضها أثناء نموها. فى النهاية، يستقر زوج من المريكزات عند كل قطب من أقطاب الخلية. تنمو بعض ألياف المغزل باتجاه الكروموسومات وتتصل بالكينيتوكور على كل جانب من السنترومير)انظر الشكل 4.5(. ثم تسحب ألياف المغزل الكروموسومات ذهابًا وإيابًا حتى تصطف على الخط الوسيط للخلية.

[6] pro = أول



الشكل 4.14 دورة الخلية.

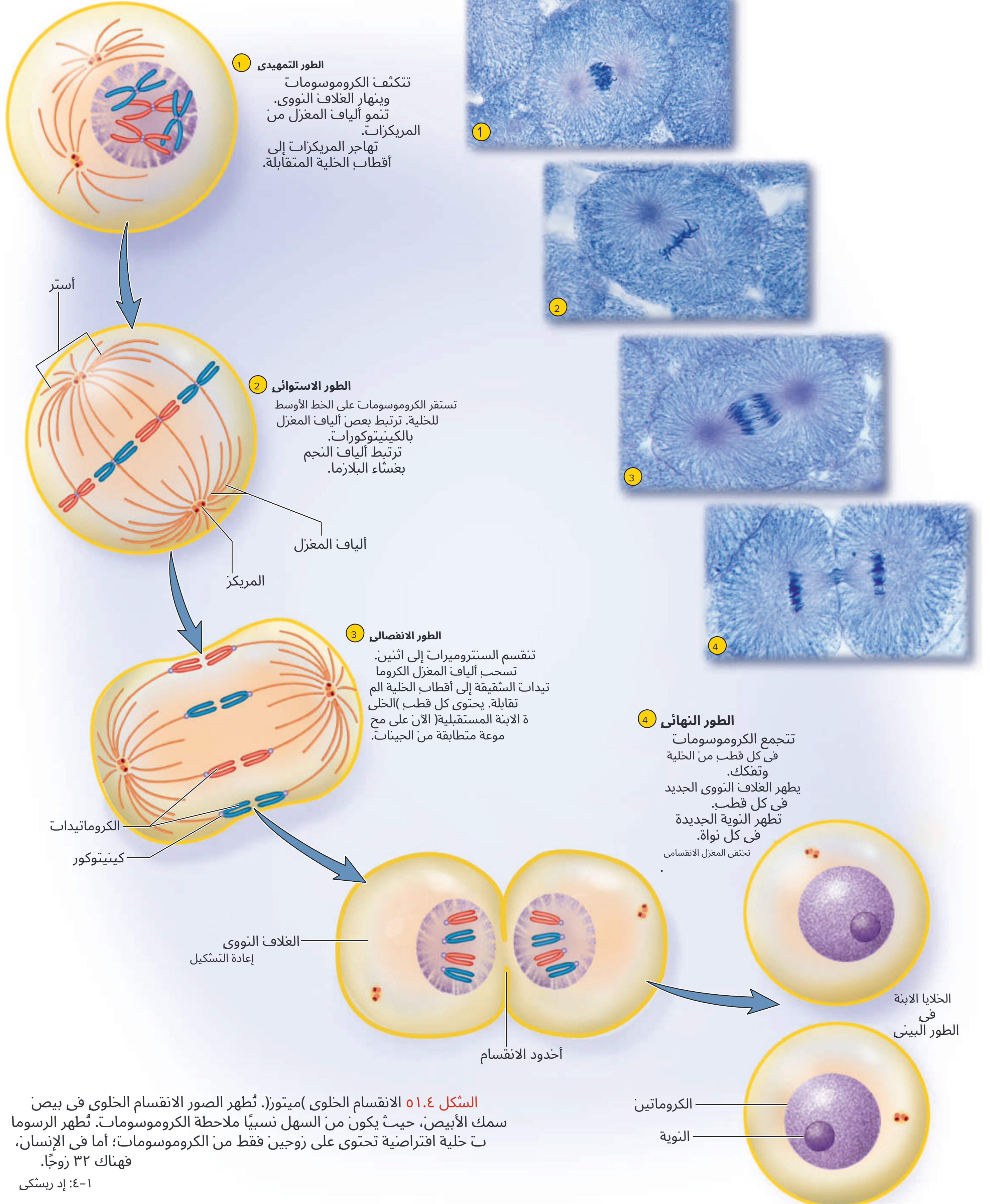
4.3ح دورة الخلية

تنقسم معظم الخلايا بشكل دورى إلى خليتين ابنتين، لذا تمتد دورة ح ياة الخلية من انقسام إلى آخر. وتنقسم هذه دورة الخلية إلى أربع مرا حل رئيسية: G_1، S، G_2، و M)الشكل 4.14(.

G1 هى المرحلة الفاصلة الأولى، وهى فترة بين انقسام الخلية وتكرار الحمض النووى. خلال هذا الوقت، تقوم الخلية بتخليق البروتي نات، وتنمو، وتؤدى مهامها المحددة للجسم. تقريبًا كل ما نناقشه فى هذا الكتاب يتعلق بما تفعله الخلايا فى مرحلة G_1. كما أن الخلايا فى G_1 تجمع المواد اللازمة لتكرار حمضها النووى فى المرحلة ا لتالية. فى الخلايا المزروعة التى تسمى الأرومات الليفية)fibroblasts(، والـ تى تنقسم كل 18 إلى 24 ساعة، تستمر مرحلة G_1 من 8 إلى 10 ساعات.

S هى مرحلة التخليق، حيث تصنع الخلية نسخة مكررة من المر يكزات)centrioles(والحمض النووى النووى. هذه هى النقطة التى تقوم فيها الخلية بالتكرار نصف المحافظ كما وُصف سابقًا. ثم تتوفر م جموعتان متطابقتان من جزيئات الحمض النووى ليتم تقسيمهما بين الخلايا الابنة فى الانقسام التالى. تستغرق هذه المرحلة من 6 إلى 8 ساعات فى الأرومات الليفية المزروعة.

G 2، المرحلة الثانية من الطور الفاصل، هى الفترة الزمنية)4-6 ساعا ت فى الأرومات الليفية(بين تكرار الحمض النووى والانقسام الخلوى. فى G_2، تُطهر الخلية نموًا إضافيًا، وتُنتج المزيد من العضيات، وتُكمل تكرار السنتر يولات الخاصة بها، وتُصنع الإنزيمات التى تتحكم فى انقسام الخلية. كما تتح قق من دقة تكرار الحمض النووى وعادةً ما تصلح أى أخطاء يتم اكتشافها.



الشكل ٤.١٥ الانقسام الخلوى)ميتوز(. تُظهر الصور الانقسام الخلوى فى بيض سمك الأبيض، حيث يكون من السهل نسبيًا ملاحظة الكروموسومات. تُظهر الرسوما ت خلية افتراضية تحتوى على زوجين فقط من الكروموسومات؛ أما فى الإنسان، فهناك ٢٣ زوجًا.

١-٤: إد ريشكى

عن طريق طفرات جديدة وعفوية تُكتسب بشكل مستقل عن بعضها ا
لبعض أثناء وجودها فى الرحم.

4.3e تنظيم انقسام الخلية

واحدة من أهم الأسئلة فى علم الأحياء هى ما الذى يُشير إلى الخلايا م
تى تنقسم ومتى تتوقف. يُعد تنشيط وتثبيط انقسام الخلايا موضوعًا
للبحث المكثف لأسباب واضحة مثل إدارة السرطان وإصلاح الأنسجة.
تنقسم الخلايا عندما)1(تنمو بما يكفى لتحتوى على كمية كافية من ا
لسيتوبلازم لتوزيعه على خليتيها الابنتين؛)2(تكون قد نسخت حمضه
ا النووى)DNA(بحيث يمكنها إعطاء كل خلية ابنة مجموعة مكررة من
الجينات؛)3(تتلقى إمدادًا كافيًا من المغذيات؛)4(يتم تحفيزها بوا
سطة عوامل النمو، وهى إشارات كيميائية تفرزها الصفائح الدموية وخ
لايا الكلى ومصادر أخرى؛ أو)5(تموت الخلايا المجاورة، مما يفتح م
ساحة فى النسيج لتشغلها خلايا جديدة. تُعد عوامل النمو ومستقبلاتها
قضية مركزية فى فهم النمو غير المنضبط للسرطان)انظر التعمق 4.
3(. تتوقف الخلايا عن الانقسام عندما تتلامس بإحكام مع الخلايا المجا
ورة أو عندما تُسحب المغذيات أو عوامل النمو. يُسمى توقف انقسام
الخلايا استجابةً للتلامس مع خلايا أخرى بـ "تثبيط التلامس".غياب تـ
ثبيط التلامس، مما يؤدى إلى انقسام خلوى غير منضبط، هو أحد خ
صائص السرطان.

يتم تنظيم دورة الخلية بواسطة مؤقت جزيئى ونقاط تفتيش معينة
تقوم الخلية عندها بفحص حالتها قبل الانتقال إلى المرحلة التالية. عن
صران رئيسيان فى المؤقت هما عائلات من البروتينات تُسمى السيكل
ينات و كينازات تعتمد على السيكلين)Cdks(. الكيناز هو إنزيم يضيف
مجموعة فوسفات إلى بروتينات أخرى، مما يؤدى إلى تفعيلها أو تثبيط
وظيفتها. توجد Cdks بمستويات مستقرة إلى حد ما فى الخلايا، ولكن
بدون السيكلينات، تبقى خاملة ولا تؤدى أى وظيفة. ترتفع وتنخفض م
ستويات السيكلين خلال دورة الخلية. فى المرحلة الأولى من الطور البين
ى، يتم نسخ جينات السيكلين وترتفع مستويات السيكلين.
عندما ترتبط هذه الإنزيمات بـ Cdks، تقوم بفوسفرة البروتينات مع تأثيرات م
ختلفة سيتم وصفها باختصار. فى نهاية الانقسام الخلوى، تقوم البروتيازومات
بتحليل السيكلينات، مما يؤدى إلى انخفاض مستوياتها، وتصبح Cdks خام
لة مرة أخرى حتى الدورة التالية.
فى نقاط تفتيش محددة خلال دورة الخلية، يرتبط السيكلين بـ a Cdk
وينشط سلسلة من التفاعلات الكيميائية الحيوية التى تُعد الخلية للانتقال
إلى المرحلة التالية من الدورة. واحدة من هذه النقاط، المسماة نقطة البدا
ية أو نقطة تفتيش G1، تسمح للخلية إما بالانتقال نحو المرحلة S أو، إذا
لم تفعل ذلك، تدخل الخلية فى المرحلة غير الدورية G0 نقطة تفتيش G2
/M فى أواخر المرحلة G2تحدد ما إذا كانت الخلية قادرة على الانتقال إلى
الانقسام الخلوى. نقطة تفتيش ثالثة عند الانتقال من الطور الاستوائى إلى
الطور الانفصالى تحدد ما إذا كانت الخلية يمكنها الانتقال إلى الطور الانف
صالى، مما يؤدى إلى فصل الكروماتيدات الشقيقة.
يمكن أن تكون الأعطال فى هذه العملية كارثية على الخلية وحتى
على حياة الشخص بأكمله. إذا فشلت فى السماح للخلية بالتقدم خلال
دورة الخلية، فقد تكون النتيجة فشل فى صيانة الأنسجة وإصلاحها. م
ن ناحية أخرى، إذا تقدمت دورة الخلية بسرعة كبيرة وبدون تحكم، فقد
تكون النتيجة نموًا غير منضبط للأنسجة)الورم(والسرطان.

من بين الوظائف الأخرى لمجمعات السيكلين-كيناز)Cdk(، فإنها
تتحكم فى)1(تكرار الحمض النووى)DNA(والسترولات فى الطور
S(؛)2(تكثيف الكروموسومات، وانهيار الغلاف النووى، و
تشكيل المغزل الانقسامى، وربط الكروموسومات بالمغزل فى الطور ا
لتمهيدى)prophase(؛ و)3(انقسام السنترومير وفصل الكروماتيدا
ت الشقيقة فى الطور الانفصالى)anaphase(.

2 الطور الاستوائى.7 تصطف الكروموسومات على خط استواء الخ
لية، متأرجحة قليلاً وتنتظر إشارة تحفز كل واحدة منها على الان
قسام إلى اثنتين عند السنترومير. تشكل ألياف المغزل الآن م
جموعة على شكل ليمونة تُسمى المغزل الانقسامى. تمتد ا
لأنابيب الدقيقة الطويلة من كل سنتريول إلى الكروموسومات
، وتشكل الأنابيب الدقيقة الأقصر نجمة تُسمى *النجمية*.٨ ال
تى تثبت التجميع على داخل غشاء البلازما عند كل طرف من ا
لخلية.

3 الطور الانفصالى.٩ يبدأ هذا الطور بتنشيط إنزيم يقص الكروما
تيدات الشقيقة عن بعضها عند السنترومير. تُعتبر كل كروماتيد
ة الآن كروموسومًا ابنيًا منفردًا ذو شريط واحد. يهاجر كل كروم
وسوم ابنى إلى أحد قطبى الخلية، مع تقدم السنترومير فى الم
قدمة وتتبعه الأذرع. يتم تحقيق الهجرة بواسطة بروتينات الم
حرك فى الكينيتوكور التى تزحف على طول ليف المغزل بينما ى
تم "ابتلاع" الليف نفسه وتفكيكه عند الطرف الكروموسومى.

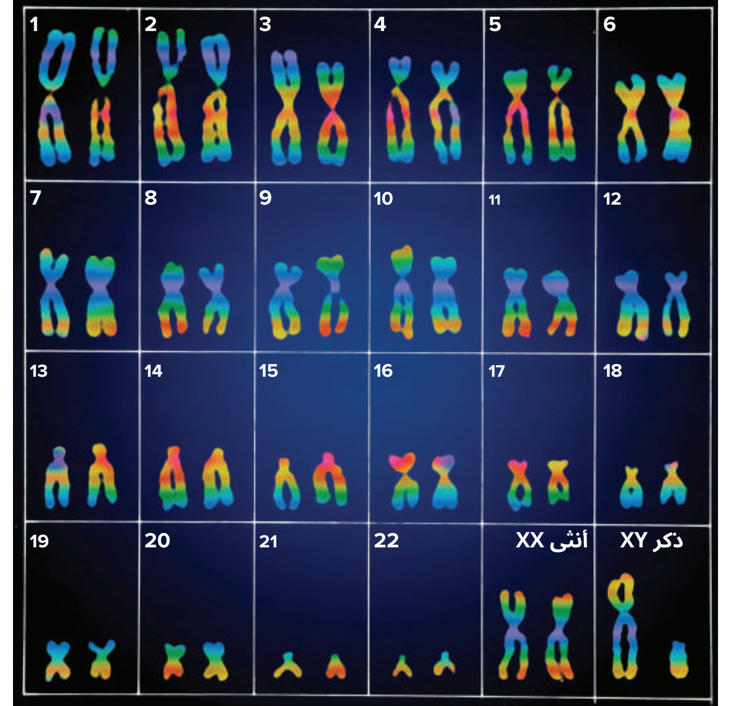
4 الطور النهائى.١٠ تتجمع الكروموسومات الابنة على كل جان
ب من الخلية. ينتج الشبكة الإندوبلازمية الخشنة غلافًا نوو
يًا جديدًا حول كل مجموعة، وتبدأ الكروموسومات فى التفكك
والعودة إلى شكل الكروماتين المبعثر الرقيق.
ينكسر المغزل الانقسامى ويختفى. يشكل كل نواة جديدة
نويات، مما يدل على أنها بدأت بالفعل فى صنع RNA وت
ستعد لتخليق البروتين.

الطور النهائى هو نهاية انقسام النواة لكنه يتداخل مع الانقسام السى
توبلازمى١١)SY-toe-kih-NEE-sis(، وهو انقسام السيتوبلازم إل
ى خليتين. تظهر آثار مبكرة للانقسام السيتوبلازمى حتى فى الطور الانفصا
لى. يتم تحقيق ذلك بواسطة بروتين المحرك الميوسين الذى يسحب على
خيوط الأكتين الدقيقة فى الشبكة النهائية للهيكل الخلوى. هذا يخلق طية
تُسمى *أخدود الانقسام* حول خط استواء الخلية، وفى النهاية تنقسم الخلية
إلى اثنتين. يبدأ الطور البينى الآن لهذه الخلايا الجديدة. ومع ذلك، يجب أ
ن تكون على علم بأن الانقسام الخلوى)انقسام النواة(يمكن أن يحدث بدو
ن الانقسام السيتوبلازمى)انقسام الخلية(. لهذا السبب، تكتسب بعض ال
خلايا نواتين أو أكثر أو مجموعات متعددة متطابقة من الكروموسومات.
قد يظن المرء أنه بما أن الحمض النووى)DNA(يُنسخ بأمانة من
خلال الاقتران القاعدى التكميلى فى الطور S، ثم يتم توزيع النسختين
على الخليتين الابنتين فى كل طور انفصالى للانقسام، فإن الخليتين ا
لابنتين ستكونان متطابقتين جينيًا. قد يتوقع المرء بشكل معقول أن
جميع خلايا الجسم، باستثناء الخلايا الجنسية، متطابقة جينيًا. لكنها لي
ست كذلك. رأينا سابقًا أن نسخ الحمض النووى ليس خاليًا من الأخط
اء، وحتى بعد النسخ، يمكن أن تظهر طفرات جديدة تلقائيًا فى أى من
الشريطين بشكل مستقل عن الآخر. لهذا ولأسباب أخرى عديدة، خلايا
نا الجسدية)غير الجنسية(متغيرة جينيًا. جسد الإنسان هو فسيفساء
من التنوع الجينى — حالة تعرف باسم الفسيفساء الجينية. هذا التنو
ع يكون كبيرًا بشكل خاص بين خلايا الجهاز المناعى، والخلايا الجنسية،
والخلايا العصبية. حتى التوائم المتماثلة، التى تنشأ من بويضة مخص
بة واحدة، ليست متطابقة جينيًا حقًا.

يولدون مع ما يصل إلى 100 إلى 200 اختلاف جينى، ناتج عن

---

[7] *ميتا* = التالى فى سلسلة
[8] *aster* = نجم
[9] *ana* = منفصل
[10] *telo* = نهاية، نهائى
[11] *cyto* = خلية؛ *kinesis* = حركة، فعل



الشكل ٦١.٤ الكروموسومات البشرية الطبيعية. هذه صورة مجهرية للكروموسومات مصبوغة لتوضيح أنماط الشرائط الخاصة بها. يظهر الكروموسومان في كل زوج متماثل حجمًا وشكلًا وأنماط شرائط متشابهة. يحتوي كل كروموسوم في هذه المرحلة على كروماتيدين.

Omikron/Science Source

طبق ما تعرفه ◀◀◀

لماذا تكون الخلية في الطور الاستوائي أكثر فائدة من الخلية في الطور البيني لإنتاج الكاريوتايب؟

أي خلية تحتوي على ٣٢ زوجًا من الكروموسومات تُسمى ثنائية الصيغة الصبغية(2n 14). أما خلايا الحيوانات المنوية والبويضات فهي أحادية الصيغة الصبغية (n)[15] ، مما يعني أنها تحتوي فقط على ٣٢ كروموسومًا غير مزدوج. تُسمى الحيوانات المنوية والبويضات، والخلايا التي في طريقها لتصبح حيوانات منوية وبويضات، خلايا جرثومية (خلايا جنسية). جميع الخلايا الأخرى في الجسم تُسمى خلايا جسدية. في الانقسام الاختزالي (انظر القسم 27.4a)، يتم فصل الكروموسومان المتماثلان في كل زوج إلى خلايا ابنة منفصلة تؤدي إلى الخلايا الجرثومية أحادية الصيغة الصبغية. عند الإخصاب، يتحد مجموعة من الكروموسومات الأبوية (الحيوانات المنوية) مع مجموعة من الكروموسومات الأمومية (البويضة)، مما يعيد العدد الثنائي الصيغة الصبغية إلى البويضة المخصبة والخلايا الجسدية التي تنشأ منها.

٤.٤ب الجينات والأنماط الأليلية

تم رسم خرائط مواقع الجينات المحددة على أزواج الكروموسومات الـ ٣٢ لدينا بشكل جيد منذ المشروع الدولي الضخم للجينوم البشري من ١٩٩١ إلى ٢٠٠٢. يُسمى موقع الجين الموضع الجيني. يحتوي الكروموسومان المتماثلان على نفس الجين في نفس الموضع، لكن يمكن أن يحمل كل منهما أشكالًا مختلفة من ذلك الجين، تُسمى الأنماط الأليلية 16(ah-LEELS)، والتي تنتج أشكالًا بديلة من صفة معينة.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

11. وصف الأدوار الوراثية لإنزيم DNA هيليكاز وإنزيم DNA بوليميراز. قارن وظيفة DNA بوليميراز مع وظيفة RNA بوليميراز.
12. اشرح لماذا يُطلق على تكرار DNA اسم نصف محافظ.
13. عرف الطفرة. اشرح لماذا بعض الطفرات غير ضارة وبعضها قد يكون قاتلًا.
14. عدد مراحل دورة الخلية وقدم ملخصًا لما يحدث في كل منها.
15. اذكر مراحل الانقسام المتساوي والعمليات الرئيسية التي تحدث في كل منها.
16. اشرح بإيجاز كيف تتحكم السيكلينات، وكينازات دورات الخلية (Cdks)، ونقاط التفتيش في دورة الخلية.

الكروموسومات والوراثة 4.4

النتائج التعليمية المتوقعة

عندما تكمل هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف الترتيب الزوجي للكروموسومات في الكاريوتايب البشري؛

ب. تعريف الأليل ومناقشة كيف تؤثر الأليلات على صفات الفرد؛ و

ج. مناقشة تفاعل الوراثة والبيئة في إنتاج الصفات الفردية.

الوراثة هي انتقال الخصائص الجينية من الوالدين إلى النسل. في المناقشة التالية، سنستعرض بعض المبادئ الأساسية للوراثة الطبيعية، مما يؤسس لفهم الصفات الوراثية في الفصول اللاحقة. يتم وصف العيوب الوراثية في الفصل 29 إلى جانب العيوب الخلقية غير الوراثية.

4.4أ الكاريوتايب

كما رأينا، عوامل الوراثة هي الجينات، وتحمل الجينات على الكروموسومات. عندما نرتب الـ 46 كروموسومًا حسب الحجم والميزات الفيزيائية الأخرى، نحصل على مخطط يسمى الكاريوتايب[12] (الشكل 4.16). تحدث الكروموسومات في 23 زوجًا؛ ويُسمى العضوان في كل زوج بالكروموسومات المتماثلة[13] (ho-MOLL-uh-gus). يُورث أحد أعضاء كل زوج من الأم والآخر من الأب. باستثناء كروموسومات X وY، تبدو الكروموسومات المتماثلة متشابهة وتحمل نفس الجينات، رغم أنها قد تحتوي على أنواع مختلفة من تلك الجينات. تُسمى كروموسومات X وY بكروموسومات الجنس لأنها تحدد جنس الفرد؛ أما البقية فتُسمى بالكروموسومات الجسدية. عادةً ما تمتلك الأنثى زوجًا متماثلًا من كروموسومات X، بينما يمتلك الذكر كروموسوم X واحد وكروموسوم Y أصغر بكثير.

[12] كاريون = النواة
[13] homo = نفس؛ log = علاقة

[14] ديپلو = مزدوج
[15] هپلو = نصف
[16] ألو = مختلف

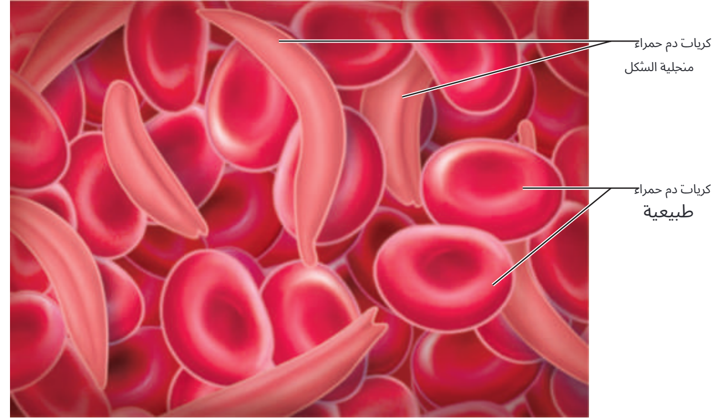
لأليلات سائدًا والآخر متنحيًا. إذا كان على الأقل كروموسوم واحد يحمل الأليل السائد، فإن الشخص عادةً ما يُظهر)"يعبر عن"(الصفة المقابلة. حتى إذا كان هناك أليل متنحى على الكروموسوم الآخر، فإن تأثيره يُخفيه الأليل السائد. إذا كان الأليل السائد يشفر لبروتين معين، فإن الأليل المتنحى عادةً ما يشفر نسخة متغيرة وغير وظيفية من ذلك البروتين؛ ويُشار إلى الأليلات المتنحية أحيانًا على أنها جينات فقدان الوظيفة. تُعبّر تأثيراتها فقط إذا كانت موجودة على كلا الكروموسومين فى الزوج. سيتم وصف مثال محدد على ذلك، وهو مرض الخلايا المنجلية، قريبًا.

الأفراد الذين لديهم أليلات متطابقة لجين معين على كلا الكروموسومين المتماثلين يُقال عنهم متماثلو الزيجوت[17] (HO-mo-ZY-gus) لذلك الجين. إذا كان لدى الكروموسومات المتماثلة أليلات مختلفة لذلك الجين، فإن الفرد يكون مغاير الزيجوت[18](HET-er-oh-ZY-gus). الأليلات المزدوجة التى يمتلكها الفرد لصفة معينة تشكل التركيب الجينى)JEE-no-type(. الصفة المرصودة الناتجة عن ذلك التركيب الجينى تُسمى الطاهرة 19)FEE-no-type(. نقول إن الأليل مُعبر عنه إذا ظهر فى الطاهرة للفرد بحيث يمكن اكتشافه بأى طريقة بدءًا من الملاحظة البسيطة)مثل لون العين(إلى التحليل الكيميائى الحيوى)مثل وجود إنزيم معين(.

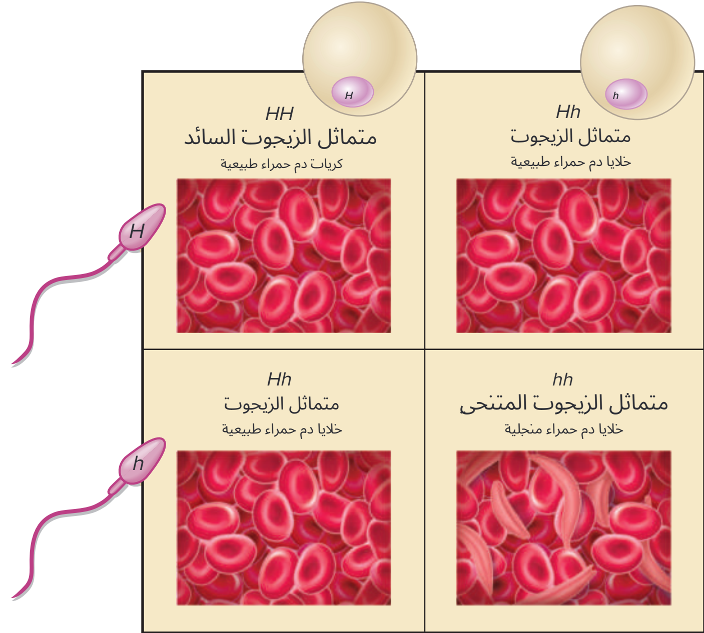
عادةً ما يُمثّل الأليل السائد بحرف كبير مائل مثل *A*. الحرف تعسفى لكنه عادةً ما يرمز إلى الصفة قيد الدراسة. الأليلات المتنحية تُمثّل بنفس الحرف بحروف صغيرة مائلة، مثل *a*. عادةً ما يُمثّل التركيب الجينى بحرفين، مثل *AA* لزوج أليلات سائد متماثل، *aa* لمتماثل متنحى، و*Aa* لمغاير الزيجوت.

نادراً ما يكون السمة محددة بواسطة جين واحد فقط، لكن مثل هذه الحالات ليست غير مهمة. حوالى 25 مليون أمريكى يعانون من أمراض تُعزى إلى أليل واحد: التليف الكيسى، مرض هنتنغتون، ضمور العضلات، ومرض الخلايا المنجلية، من بين أمراض أخرى. مرض الخلايا المنجلية يصيب حوالى 1.3% من الأمريكيين من أصل أفريقى؛ بينما 8% آخرون حاملون متغايرو الزيجوت لا يعانون من المرض، لكنهم يحملون الأليل المتنحى وقد ينقلونه إلى أطفالهم. يُقال إن الحاملين لديهم سمة الخلايا المنجلية)SCT(. ينشأ مرض الخلايا المنجلية من أليل متنحى لأحد البروتينات التى تشكل جزىء الهيموغلوبين. فى الأشخاص المصابين بمرض الخلايا المنجلية، يتحول الهيموغلوبين إلى هلام عند انخفاض مستويات الأكسجين، كما يحدث عند مروره عبر الأوردة. هذا يسبب تشوه خلايا الدم الحمراء)RBCs(إلى أشكال ممدودة ذات نهايات مدببة)الشكل 4.17أ(. كما أنها لزجة وتتجمع معًا، مما يسد الأوعية الدموية الصغيرة ويتسبب فى ألم شديد، وعجز، وتأخر فى النمو الجسدى والعقلى. بدون رعاية طبية، فرص بقاء الطفل المصاب بمرض الخلايا المنجلية على قيد الحياة تتضاءل بعد عامين. يمكن العثور على المزيد حول علم الأمراض وتطور مرض الخلايا المنجلية فى الفصل 18)القسم 18.2هـ(. هنا، سنركز على وراثته.

لفحص ذلك، دعونا نمثل الأليل السائد للهيموغلوبين الطبيعى *H* والأليل المتنحى للهيموغلوبين المنجلى *h*. الأفراد متماثلو الزيجوت السائدون *(HH)* لا يعانون من مرض الخلايا المنجلية أو السمة؛ ولا يمكنهم نقلها إلى أطفالهم. الأفراد متغايرو الزيجوت *(Hh)* لديهم السمة ولكن ليس المرض؛ هم



)أ(



)ب(

الشكل 4.17 مرض الخلايا المنجلية.)أ(خلايا الدم الحمراء المنجلية والطبيعية)RBCs(.)ب(وراثة مرض الخلايا المنجلية عندما يكون كلا الوالدين حاملين متغايرى الزيجوت. بالنسبة للأليلين الهيموغلوبينيين، تُظهر الألواح الأربعة فى مربع بونيت البويضات المحتملة فى الأعلى والحيوانات المنوية المحتملة على اليسار. ما إذا كان طفل هذا الزوج مصابًا بمرض الخلايا المنجلية أو السمة يعتمد على الحيوان المنوى الذى يخصب أى بويضة. لدى طفل هذا الزوج فرصة 25% لهيموغلوبين طبيعى وعدم كونه حاملًا للسمة)خلية أعلى اليسار(؛ فرصة 50% لعدم الإصابة بمرض الخلايا المنجلية لكنه حامل له)أعلى اليمين وأسفل اليسار(؛ وفرصة 25% للإصابة بمرض الخلايا المنجلية)أسفل اليمين(.

لديهم القدرة على نقلها إلى أطفالهم. الأفراد متماثلو الزيجوت المتنحون *(hh)* يعانون من مرض الخلايا المنجلية.

رسم بيانى يسمى مربع بونيت)الشكل 4.17ب(يوضح نمط وراثة هذا الجين ويوضح لماذا يمكن لمرض الخلايا المنجلية أن يتخطى جيلًا. إذا كانت المرأة متغايرة الزيجوت، فإن 50% من بويضاتها ستحمل الأليل *H* و50% ستحمل الأليل *h*, كما هو موضح عبر الجزء العلوى من مربع بونيت. وبالمثل، إذا كان الرجل متغاير الزيجوت، فإن 50% من حيواناته المنوية ستحمل كل أليل، كما هو موضح فى الأسفل

[17]هومو = نفس؛ زيغو = اتحاد، متصل
[18]هتيرو = مختلف؛ زيغو = اتحاد، متصل
[19]فينو = طاهر، واضح

▶▶▶ طبق ما تعرفه

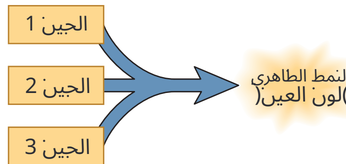
لماذا لا يمكن لشخص واحد أن يمتلك جميع أليلات ABO الثلاثة؟

بعض الأليلات متساوية السيادة، أو متشاركة السيادة. عندما تكون كلاهما موجودة، يتم التعبير عن كلاهما ظاهريًا. على سبيل المثال، الشخص الذى يرث الأليل *آى*[إيه] من أحد الوالدين و*آى*[ب] من الوالد الآخر يكون لديه فصيلة دم AB. هذه الأليلات ترمز لإنزيمات تنتح الجليكوليبيدات السطحية لخلايا الدم الحمراء. النوع AB يعنى أن كلا من جليكوليبيدات A و B موجودة، والنوع O يعنى أن كلاهما غير موجود.

أليلات أخرى تطهر سيادة غير كاملة. عندما تكون أليلين مختلفى ن موجودين، يكون النمط الظاهرى وسيطًا بين الصفات التى سينتجه ا كل أليل \بمفرده. فرط كوليسترول الدم العائلى، على سبيل المثال، هو مرض يرث فيه الأشخاص أليلًا غير طبيعى من كلا الوالدين ويكون لديهم مستويات كوليسترول فى الدم تصل إلى ستة أضعاف المعدل فى السكان العامين، فى حين أن الذين يرثونه من أحد الوالدين فقط لديهم مستويات تعادل حوالى ضعفين أو ثلاثة أضعاف المعدل الطبى عى. إذا لم يُعالج، فإن الأشخاص المتجانسين مع الأليل المعيب غال بًا ما يموتون بنوبات قلبية فى مرحلة الطفولة، والأفراد غير المتجانس ين الذين لم يُعالجوا غالبًا ما يموتون فى سن الشباب.

٤.٤د الوراثة متعددة الجينات وتأثير التعددية

الوراثة متعددة الجينات)polygenic( )الشكل 4.18(هى ظاهرة يساه م فيها الجينات فى موقعين أو أكثر، أو حتى على كروموسومات مختل فة، فى صفة ظاهرية واحدة. على سبيل المثال، ألوان العين والشعر وا لجلد لدى الإنسان هى صفات متعددة الجينات طبيعية. كل منها ينتج عن التعبير المشترك لأكثر من 100 جين، مما يجعل من المستحيل ا لتنبؤ بالصفات بشكل موثوق.





الشكل 4.18 الوراثة متعددة الجينات للون العين. صفة متعددة الجينات مثل لون العين تتحدد بمساهمات الجينات فى مواقع متعددة. تم تمثيل 3 جينات افتراضية فقط، لكن لون العين يتأثر بأكثر من 100 جين.

)أعلى(: دان كوسماير/Shutterstock;)منتصف(: إيغور_خابال/Shutterstock;)أسفل(: coloroftime/Getty Images

الجانب الأيسر. إذا كان لدى فردين متغايرى الزيجوت أطفال، فإن الأمر يعتمد على الصدفة فى تحديد أى الحيوانات المنوية تخصب أى البويضات، لكن الخلايا الأربع داخل مربع بونيت توضح النتائج المحتملة.

إذا قامت حيوان منوى يحمل *H* بتخصيب بويضة تحمل *H*، تكون النتيجة طفل *HH* بسوائل دم طبيعية)الخلية العلوية اليسرى من الجدول(.

هناك احتمال واحد من أربعة)25%(أن يكون أى من أطفالهم لهذه ال نتيجة المحظوظة. إذا قامت حيوان منوى يحمل *h* بتخصيب بويضة تحمل *h*، تكون النتيجة طفل *hh* مصاب بمرض الخلايا المنجلية)الخلية الس فلية اليمنى من الجدول(. وهناك أيضًا احتمال واحد من أربعة)25%(أن يكون أى من أطفالهم لهذه النتيجة المؤسفة. ولكن إذا قامت حيوا ن منوى يحمل *H* بتخصيب بويضة تحمل *h* أو حيوان منوى يحمل *h* بتخصيب بويضة تحمل *H*، تكون النتيجة طفل متغاير الزيجوت (Hh) بسائل دم طبيعية، لكنه يحمل صفة الخلايا المنجلية وقد ينقلها إلى ا لجيل التالى. وهناك احتمالان من أربعة)50%(لهذه النتيجة.

يمكننا أن نستنتج من هذا كيف يمكن لصفة متنحية أن تتخطى جيلًا. يمكن لأى من الوالدين فى هذا المخطط أن يكون لديه والد مصاب بمرض فقر الدم المنجلى؛ سيكون هو أو هى خاليين من المرض)كلاهما متغاير ا لزيجوت(؛ لكن هؤلاء الوالدان يمكن أن ينجبا طفلاً مصابًا بفقر الدم المنجل ى. لقد "تخطى" المرض هذا الجيل من الوالدين، مختبئًا فى حالة متغاير ا لزيجوت، لكنه قد يظهر فى آبائهم وكذلك فى أطفالهم.
بالنسبة لبعض الأمراض الوراثية، تتوفر اختبارات للكشف عن الح املين وتسمح للأزواج بتقييم خطر إنجاب أطفال مصابين باضطرابات جينية. يقوم مستشارو الوراثة بإجراء الفحوصات الجينية أو إحالة العم لاء لإجراء الاختبارات، ويقدمون النصائح للأزواج حول احتمال انتقال ا لأمراض الوراثية، ويساعدون الأشخاص على التكيف مع الأمراض الح ينية.

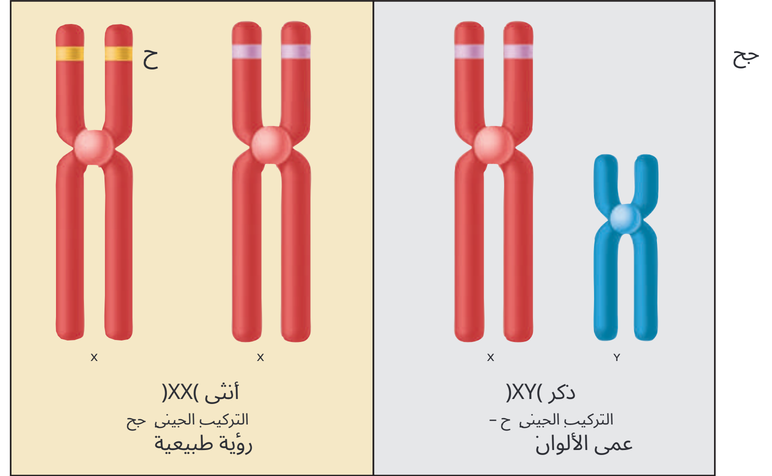
▶▶▶ طبق ما تعرفه

هل من الممكن لامرأة مصابة بمرض فقر الدم المنجلى أن تنجب أطفالًا بيولوجيين بدون المرض؟ استخدم مربع بونيت وأنموذج أ و أكثر من الأنماط الجينية الافتراضية للأب لتوضيح وجهة نظرك.

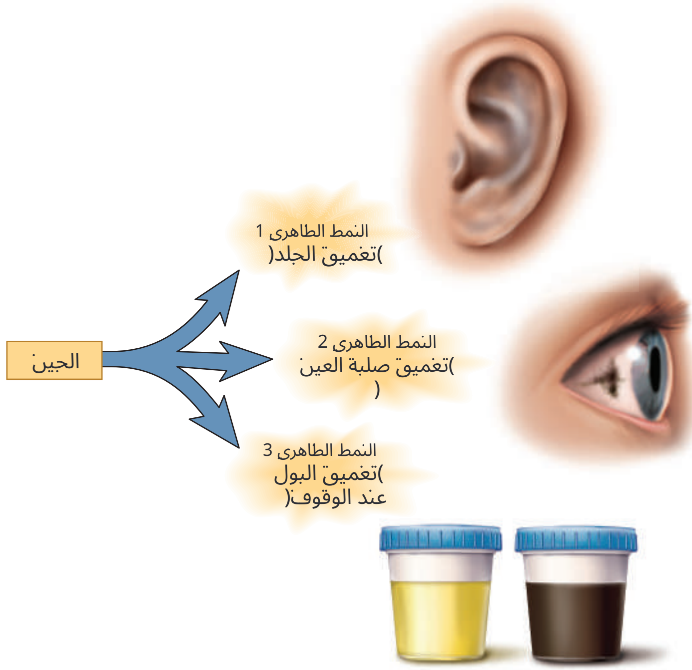
4.4ح الأليلات المتعددة، التماثل المشترك، وال سيطرة غير الكاملة

توجد بعض الجينات فى أكثر من شكل أليلين اثنين — أى أن هناك أ ليلات متعددة ضمن التركيب الجينى الجماعى، أو تجمع الجينات، لل سكان ككل. على سبيل المثال، هناك أكثر من 100 أليل مسؤول عن ا لتليف الكيسى، وهناك 3 أليلات لأنواع دم ABO. اثنان من أليلات نوع دم ABO هما سائدان ويرمزان بحرف كبير I)لـ الغلوبولين المناعى(م ع رمز علوى: IA و IB. وهناك أليل متنحى واحد يرمز له بحرف صغير i. الأليلان اللذان يرثهما الفرد يحددان نوع الدم، كما يلى:

النمط الظاهرى	النمط الجينى
النوع A	I A I A
النوع A	I A i
النوع ب	أنا ب أنا ب
النوع ب	أنا أنا ب
النوع آى بى\تنى	آى إيه أنا ب
النوع أو	ن



الشكل 4.20 الوراثة المرتبطة بالجنس لعمى الألوان الأحمر-الأخضر. الى سار: أنثى ترث أليل متنحى(c) لعمى الألوان من أحد الوالدين ولكنها تر ث أليل سائد (C) للرؤية الطبيعية من الوالد الآخر، فستكون رؤيتها ل لألوان طبيعية.
اليمين: ذكر يرث c من والدته سيطهر عليه عمى الألوان الأحمر-الأخ ضر؛ حيث أن كروموسوم Y من والده لا يحتوى على جين مقابل ليخفى تأ ثير c.



الشكل 4.19 تعدد التأثيرات فى مرض الألكابتونوريا. يمكن أن تؤدى طفرة جينية واحدة إلى تأثيرات ظاهرة متعددة.

4.4هـ الارتباط الجنسى

الصفات المرتبطة بالجنس تُحمل على كروموسوم X أو Y وبالتالى تمي ل إلى أن تُورث لجنس واحد أكثر من الآخر.
الذكور أكثر عرضة من الإناث للإصابة بعمى الألوان الأحمر-الأخضر أو ا لهيموفيليا، على سبيل المثال، لأن الأليل لكل منهما متنحٍ وموجود ع لى كروموسوم X (مرتبط بالكروموسوم X). لدى الإناث كروموسومان X. إذا ورثت الأنثى أليل عمى الألوان المتنحى (c) على أ حد كروموسومات X، فلا يزال هناك احتمال كبير أن يحمل كروموسوم X الآخر أليلًا سائدًا (C) للرؤية الطبيعية للألوان. أما الذكور، فلد يهم كروموسوم X واحد فقط ويعبرون عادةً عن أى أليل موجود هناك)الشكل 4.20(. من المفارقات، على الرغم من أن عمى الألوان أكثر شيوعًا بين الذكور، إلا أنه يمكن وراثته فقط من أمهاتهم. لماذا؟ لأن الأ م فقط هى التى تساهم بكروموسوم X. إذا ورث الطفل الذكر c على كروموسوم X من أمه، فسيكون أعمى ألوان. ليس لديه "فرصة ثانية" لوراثة أليل طبيعى على كروموسوم X ثانٍ. يجب على الأنثى أن ترثه م ن كلا الوالدين لكى تظهر عليها صفة مثل عمى الألوان الأحمر-الأخضر. هذا يحدث، لكنه نادر نسبيًا.

يحمل كروموسوم X حوالى 900 جين، معظمها لا علاقة له بتحديد جنس الفرد. هناك عدد قليل جدًا من الجينات الوظيفية)55(على كر وموسوم Y—وهى معنية بشكل رئيسى بتطوير الخصيتين—لذلك فإن جميع الصفات المرتبطة بالجنس المثبتة ترتبط بكروموسوم X.

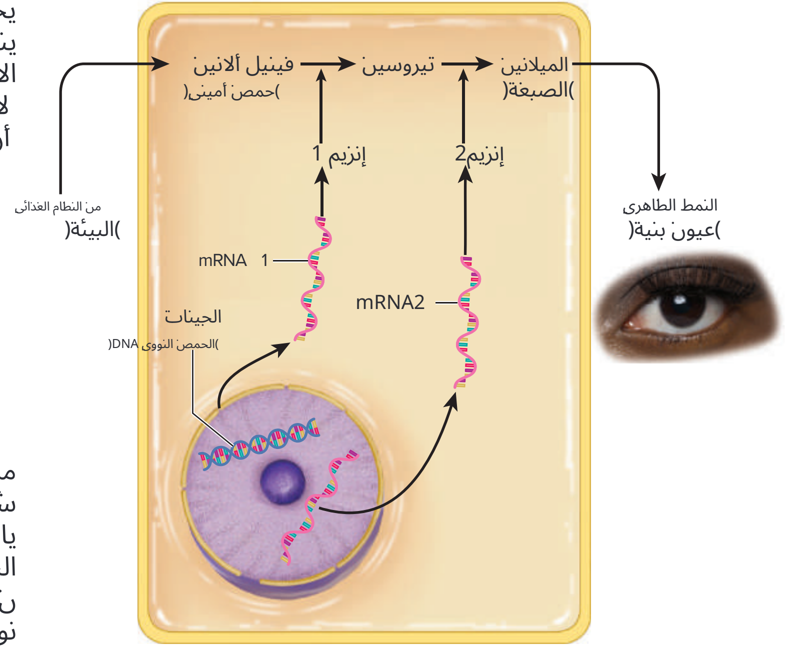
على الرغم من أن الذكور لا يرثون كروموسوم X من آبائهم، فمن ا لممكن—وفى الواقع ليس نادرًا—أن يرثوا بعض الجينات من كرومو سوم X الخاص بالأب. هذا

النسل من آبائهم)انظر الفصل 6(. يُعتقد أن عدة أمراض تنشأ أيضًا م ن الوراثة متعددة الجينات، بما فى ذلك بعض أشكال إدمان الكحول، والمرض العقلى، والسرطان، وأمراض القلب.

تعدد التأثيرات[20])تعدد التأثيرات(هو ظاهرة ينتج فيها جين واحد عدة تأثيرات ظاهرية. على سبيل المثال، حوالى 1 من كل 200,000 شخص يعانى من اضطراب وراثى يسمى *الكابتونوريا*، ناتج عن طفرة فى الكروموسوم 3. تمنع الطفرة التحلل الطبيعى لحمض الأمين تايرو سين، مما يؤدى إلى تراكم منتج تحلل وسيط، حمض الهوموجنتيسى ك، فى سوائل الجسم والأنسجة الصامة. عندما يتأكسد حمض الهومو جنتيسيك، يرتبط بالكولاجين ويحول الأنسجة إلى اللون الرمادى إلى ا لأسود المزرق، ولأسباب غير معروفة، يسبب تدهور الغضاريف وأنس جة صامة أخرى. من بين التأثيرات الظاهرية المتعددة لهذا الاضطراب

)الشكل 4.19(هى تغميق الجلد؛ تغميق وتدهور الغضاريف فى أماكن مثل الأذنين والركبتين والأقراص بين الفقرات؛ تغميق البول عند تر كه لفترة كافية لتأكسد حمض الهوموجنتيسيك؛ تغير لون الأسنان و بياض العينين؛ التهاب المفاصل فى الكتفين والوركين والركبتين؛ و تلف صمامات القلب، وغدة البروستاتا، وأعضاء داخلية أخرى — تأثير ات عديدة من جين واحد فقط! مثال آخر معروف لتعدد التأثيرات هو مرض الخلايا المنجلية، المفصل فى الفصل 18.

[20] *تعدد التأثيرات* = أكثر؛ *التغيرات* = تغييرات



الشكل 4.21 أدوار البيئة والوراثة في إنتاج النمط الظاهري. يتطلب لو ن العين البني الفينيل الانين من النظام الغذائي (البيئة) وإنزيمين مشفرين و راثيًا (الوراثة) لتحويل الفينيل ألانين إلى الميلانين، صبغة العين.

العيون: دان كوسماير/Shutterstock

4.4 السِّبْلُ الوِرَاثِيّةُ الفَوْقَ جِينيّة

غالبًا ما يُعتقد بشكل سطحي أن الطريقة الوحيدة التي يمكن أن يتغير بها تعبير الجين هي من خلال تغيير تسلسل قواعد الحمض النووي، أي من خ لال الطفرة. ومع ذلك، من الواضح أن هناك آليات أخرى تُسمى تأثيرات فوق جينية[22] (epigenetic effects) يمكنها تعديل تعبير الجي ن—تنشيط أو كتم الجينات بشكل عكسي دون تغييرات في تسلسل القواعد. من بين هذه الآليات توجد تغييرات في التعبئة عالية المستوى للكروماتين، و تعديل الهيستونات، وكتم الجينات بواسطة الحمض النووي الريبي غير الم شفر (ncRNA)، و *مثيلة الحمض النووي*—إضافة مجموعات ميثيل (CH_3—) إلى قواعد الحمض النووي، وخاصة السيتوزين، مع تأثير عادةً ما يكون كتم ا لجين.

تحدث العديد من التغيرات فوق الجينية بشكل طبيعي وتؤثر على أ مور مثل كيفية تحول الخلايا الجذعية إلى خلايا كبد أو أعصاب أو جلد. أنواع مختلفة من خلايا الجسم متطابقة تقريبًا جينيًا، لكنها تختلف كثيرًا في البنية والوظيفة بسبب التأثيرات فوق الجينية. ومع ذلك، قد تؤدي بعض التغيرات فوق الجينية إلى تحفيز أمراض واضطرابات مثل السرط ان، السمنة، داء السكري، أو أمراض القلب. يُعتقد أن السِّبْلُ الوِرَاثِيّةُ ال فَوْقَ جِينيّة قد تكون السبب المحتمل، على سبيل المثال، في اضطراب وراثي يُسمى متلازمة برادر-ويلي[23] (Prader–Willi syndrome)، حي ث يؤدي كتم الجينات إلى تأثيرات متنوعة تشمل ضعف توتر العضلات، قصر القامة، الإفراط في تناول الطعام، ومشاكل سلوكية في الطفولة.

يحدث هذا لأن كروموسومات X وY في الأب غالبًا ما تتبادل بعض الح ينات في المناطق *الزائفة للجنس* عند أطرافها. وعلى العكس، في ح الات نادرة، يمكن للابنة أن ترث جين *SRY* المحدد للذكورة من والدها لأنه انتقل إلى كروموسوم X الذي ينقله إليها. وهكذا، يمكن للرجل XY أن يرث كروموسوم Y بدون ذلك الجين "المحدد للذكورة"، ويمكن للم رأة XX أن ترث كروموسوم X يحمل جين *SRY* "المحدد للذكورة" . هذا أحد الأسباب التي تجعل جنس الشخص لا يُحدد دائمًا بش كل صارم من خلال وراثة كروموسوم X مقابل كروموسوم Y.

4.4f الأليلات السائدة والمتنحية ع لى مستوى السكان

من المفهوم الخاطئ الشائع أن الأليلات السائدة يجب أن تكون أكثر شيوعًا في تجمع الجينات من الأليلات المتنحية. الحقيقة هي أن الس يادة والتنحية لهما علاقة قليلة بمدى شيوع الأليل. على سبيل المثال، النوع O هو أكثر أنواع دم ABO شيوعًا في أمريكا الشمالية، لكنه ناتج ع ن الأليل المتنحي *i*.
نوع الدم AB، الناتج عن الأليلين السائدين في نظام ABO، هو الأندر. *تعدد الأصابع*،[21] وجود أصابع أو أصابع إضافية، هو صفة سائدة، ومع ذلك فهو نادر في السكان (1 من كل 700 إلى 1000 ولادة حية).

4.4 ح تأثيرات البيئة وتعبير الجينات

من شيء أن تحتوي أي خلية معينة على جميع الجينات المعتادة في نواتها، ومن شيء مختلف ما إذا كانت تلك الجينات مفعلة أو مطفأة — أي ما إذا كانت الخلية تظهر أي تأثيرات قابلة للكشف منها. يُسمى تشغيل الجين وتأثيره على الفرد تعبير الجين. حتى إذا كان الأليل سائدًا، فإنه ليس دائمًا ما يُعبّر عنه في النمط الظاهري. إذا تم إسكات الأليل السائد ولم يكن له تأثير على بعض الأشخاص الذين يحملونه، فإنه يُقال إنه يظهر اختراقًا غير كامل في ذلك السكان — أي أن النم ط الجيني لا "يخترق" ويؤثر على كل من يمتلكه.

أحد الأسباب التي تجعل العلاقة بين النمط الجيني والنمط الظاه ري غير حتمية هو أن العوامل البيئية تلعب دورًا مهمًا في تعبير جميع الجينات. على الأقل، يعتمد تعبير جميع الجينات على التغذية. على سبيل المثال، تتطلب العيون البنية ليس فقط الجينات المسؤولة عن الإنزيمات التي تصنع صبغة الميلانين، بل أيضًا المادة الغذائية الخام، الفينيل الانين، التي تُصنع منها الميلانين (الشكل 4.21).

لا يمكن لأي جين أن ينتج تأثيرًا نمطيًا بدون مدخلات غذائية وبي ئية أخرى، ولا يمكن لأي مواد غذائية أن تنتج جسمًا أو نمطًا ظاهريًا م حددًا بدون تعليمات جينية تخبر الخلايا بما يجب فعله بها. تمامًا كما تحتاج إلى وصفة ومكونات لصنع كعكة، تحتاج إلى كل من الوراثة وال بيئة لتكوين النمط الظاهري.

---

[22] *epi* = بعد، فوق مستوى؛ *genet* = الجين أو الجينوم
[23] أندريا برادر (1919–2001) وهاينريش ويلي (1900–1971)، أطباء أطفال سويسريون

[21] *poly* = كثير؛ *dactyl* = أصابع اليد أو القدم

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

17. لماذا يجب أن يكون حامل المرض الوراثى متغاير الزيجوت؟

18. اذكر على الأقل ثلاثة أسباب تجعل من المستحيل دائمًا تحديد النمط الظاهرى للشخص من النمط الجينى.

19. يمكن للرجل أن يرث عمى الألوان فقط من والدته، بينما يجب على المرأة أن ترثه من كلا الوالدين لتظهر عليها الصفة. فسّر هذا التناقض الظاهر.

من اللافت بشكل خاص حقيقة الوراثة فوق الجينية؛ يمكننا نقل التغيرات فى تعبير الجينات إلى الجيل التالى دون تغييرات فى تسلسل القواعد للجينات نفسها. عاداتنا وتجاربنا اليوم قد تؤثر على تعبير الجينات فى أطفالنا وربما حتى أحفادنا. أى شىء من النظام الغذائى، التدخين، أو استخدام المخدرات الترفيهية إلى التلوث، التوتر، الأوبئة، أو المجاعات يمكن أن يكون له تأثيرات فوق جينية تدوم لجيل أو جيلين آخرين. فى ضوء علم فوق الجينات، يجب علينا الآن أن ننظر إلى الوراثة على أنها لا تشمل فقط الجينات التى تنتقل من جيل إلى آخر، بل أيضًا ما إذا كانت عوامل أخرى قد نشطت تلك الجينات بشكل غير طبيعى أو أوقفتها.



نظرة أعمق ٣.٤

التطبيق السريرى

السرطان

أى شخص ينتظر نتائج خزعة الورم يأمل فى سماع الأخبار السارة: حميد! هذا يعنى أن الورم ينمو ببطء، ومحتوى داخل كبسولة ليفية، ولن ينتشر. فى معظم الحالات، يكون من السهل علاجه نسبيًا. الأخبار المخيفة هى أنه خبيث، مما يعنى أنه يميل إلى النمو بسرعة، وليس مغلفًا، وعرضة للانتشار — أى إطلاق خلايا تؤدى إلى نمو أورام متعددة فى أماكن أخرى، مثل انتشار سرطان القولون إلى الرئتين والدماغ.

علم الأورام هو تخصص طبى يتعامل مع الأورام الحميدة والخبيثة، لكن فقط الأورام الخبيثة تُسمى سرطانًا. كلمة سرطان تعنى حرفيًا "سلطعون". كان أبقراط أول من استخدم هذه الكلمة بهذه الطريقة، عندما رأى ورمًا فى الثدى مع شبكة من الأوعية الدموية التى ذكرته بأرجل السلطعون الممتدة. الأورام التى تستهلك الطاقة غالبًا ما تحفز نمو هذه الأوعية الدموية — وهى ظاهرة تسمى تكوّن الأوعية الدموية للورم.

تُسمى السرطانات حسب نسيج المنشأ: سرطانات طهارية تنشأ فى النسيج الطلائى؛ لمفوما فى العقد اللمفاوية؛ ميلانوما فى خلايا الصباغ (الخلايا الصبغية) فى البشرة؛ لوكيميا فى الأنسجة المكونة للدم مثل نخاع العظم؛ وساركوما فى العظام أو الأنسجة الصامة الأخرى أو العضلات. حوالى 90% من الأورام الخبيثة هى سرطانات طهارية.

الطفرة

فقط من ٥٪ إلى ١٠٪ من السرطانات وراثية، لكن السرطان دائمًا مرض جينى. هذا ليس متناقضًا كما قد يبدو. معظم الحالات ناتجة عن طفرات تظهر حديثًا فى الفرد المصاب، وليس عن جينات موروثة من أحد الوالدين. يمكن أن تنشأ الطفرات من أخطاء فى تكرار الحمض النووى (DNA) فى كل مرة تنقسم فيها الخلايا، أو من التعرض لمواد مسرطنة— مثل الإشعاعات كالأشعة فوق البنفسجية وأشعة إكس؛ والمواد الكيميائية مثل قطران السجائر؛ والفيروسات مثل فيروس الورم الحليمى البشرى (HPV)، والتهاب الكبد الوبائى C، ونوع ٢ من فيروس الهربس البسيط.

يهتم أطباء الأورام بشكل خاص بعائلتين من جينات السرطان تُسمى الجينات المسرطنة (oncogenes) وجينات كابحة الأورام (tumor suppressor genes). الجين المسرطن oncogene يشبه دواسة البنزين العالقة فى السيارة— فهو يسبب تسارع انقسام الخلايا بشكل غير مسيطر عليه، أحيانًا عن طريق تحفيز الإفراز المفرط لعوامل النمو التى تحفز الانقسام الخلوى (mitosis)، أو إنتاج مستقبلات مفرطة لعوامل النمو، مما يجعل الخلايا حساسة بشكل مفرط حتى لمستوى طبيعى من عامل النمو. الجين المسرطن المسمى ras مسؤول عن حوالى ربع سرطانات الإنسان، والجين المسرطن erbB2 هو عامل شائع فى سرطان الثدى والمبيض. جينات كابحة الأورام (TS genes) تثبط السرطان عن طريق معارضة عمل الجينات المسرطنة، وترميز إنزيمات إصلاح الحمض النووى،

ووسائل أخرى. ونتيجة لذلك، يمكن أن تؤدى الطفرات التى تدمر وظيفة "الفرامل" الوقائية إلى السرطان. على سبيل المثال، الطفرة فى جين كابح الأورام المسمى TP53، تشارك فى حوالى ٥٠٪ من حالات اللوكيميا وأورام القولون والرئة والثدى والكبد والدماغ والمرىء. ومع ذلك، يرتبط العديد من سرطانات الإنسان ليس بالطفرات، بل بالمثيلة الشاذة للحمض النووى، التى يمكن أن تُسكت جينات كابحة الأورام وتوقف وظيفتها الوقائية.

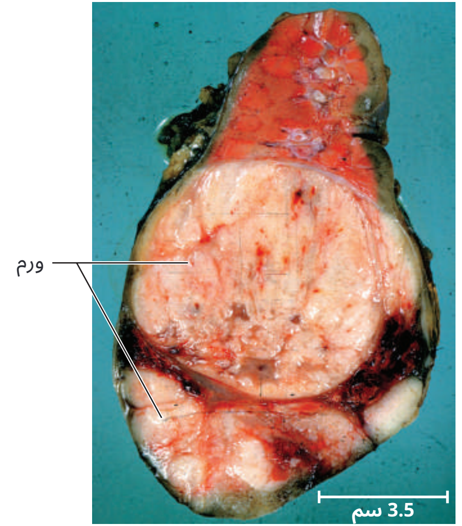
نادراً ما ينتج السرطان عن طفرة واحدة فقط. عادةً ما يتطلب الأمر من ٥ إلى ١٠ طفرات فى مواقع جينية مختلفة. يستغرق تراكم هذا العدد من الطفرات وقتًا، ولهذا السبب يكون السرطان أكثر شيوعًا بين كبار السن مقارنةً بالشباب. بالإضافة إلى ذلك، مع تقدمنا فى العمر، نكتسب تعرضًا أكبر مدى الحياة للمواد المسرطنة، وتصبح آليات إصلاح الحمض النووى والأنسجة أقل كفاءة، ويضعف جهاز المناعة لدينا ويصبح أقل قدرة على اكتشاف الخلايا الخبيثة وتدميرها.

الانتشار

يبدأ السرطان عادةً من خلية واحدة تعرضت لعدة طفرات، مما يؤدى إلى انقسامها بشكل غير مسيطر عليه ونموها لتصبح كتلة أكبر وأكبر— الورم الأولى. السمة المميزة للسرطان هى الانتشار[24]— قدرة الخلايا الخبيثة على الانتقال من الورم الأولى وزرع نمو أورام جديدة فى أماكن أخرى، منفصلة عن الورم الأولى (الشكل ٢٢.٤). الحركية والغزو هما خاصيتان رئيسيتان للخلايا المنتشرة. اعتمادًا على نوع السرطان، يمكن للخلايا الخبيثة أن تنتقل عبر الأوعية اللمفاوية، أو الأوعية الدموية، أو على طول الأعصاب، أو على طول الأسطح القاعدية للطهارة، من بين طرق أخرى.

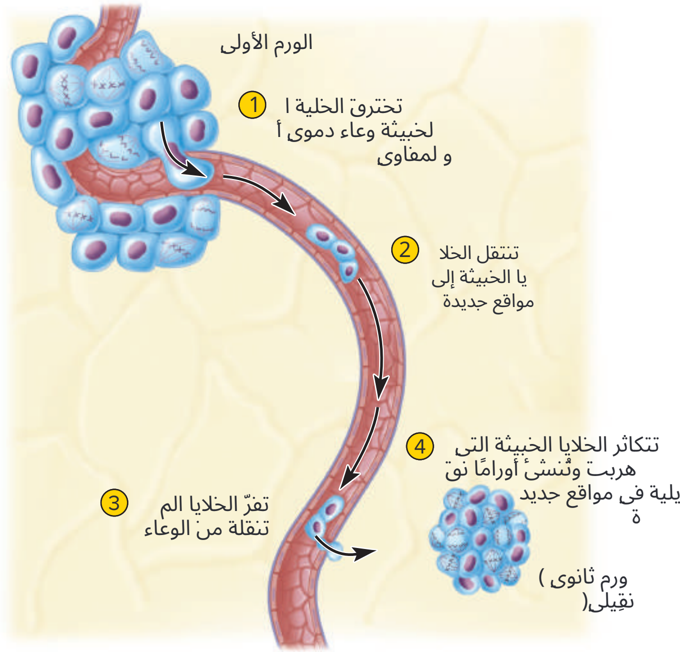
أظهرت الأبحاث الحديثة أنه قبل الانتشار مباشرة، تصدر الأورام الأولية إشارات كيميائية (السيتوكينات) تحفز أنسجة وأعضاء أخرى للاستعداد لوصول الخلايا المنتشرة. تنتج تلك الأنسجة بيئة خلوية-كيميائية معدلة تعمل كسرير أكثر ملاءمة لاستقرار الخلايا المنتشرة ونموها. يتصرف السرطان فى بعض النواحى كطفيلى، متكيف لتعزيز نجاحه وبقائه وانتشاره. ومع ذلك، وعلى عكس الطفيليات الحقيقية، لا يمكن للسرطان أن ينتقل من شخص إلى آخر.

[24] *ميتا* = ما وراء؛ *ستاسيس* = حالة مستقرة



الشكل ٣٢.٤ورم ويلمز.ورم خبيث فى الكلية يحدث بشكل خاص عند الأطفال.

من جامعة ألاباما فى برمنغهام، قسم علم الأمراض مكتبة PEIR الرقمية © http://peir.net



الشكل 4.32 العملية التى تهرب بها الخلايا الخبيثة من (الانتشار). لورم الأولى، وتسافر فى الدم أو اللمف، وتؤسس نمو أورام جديدة (نقيلية) فى مواقع أخرى. على سبيل المثال، يمكن لسرطان القولون أن ينتقل إلى الكبد أو الدماغ بهذه الطريقة.

على سبيل المثال، يُنتج اللوكيميا فرطًا كبيرًا فى عدد خلايا الدم البيضاء (WBCs) (انظر الشكل 18.19). وبما أن خلايا الدم البيضاء هى خلايا مكافحة الأمراض لدينا، قد يظن البعض أن هذا أمر جيد. ومع ذلك، فإن خلايا اللوكيميا غير ناضجة ولا تستطيع أداء هذه الوظيفة. الجسم الذى يغمره اللوكيميا يشبه أمة لديها جيش كبير مكون من أطفال بعمر 10 سنوات لا يستطيعون القتال بفعالية للدفاع عنه.

الأورام التى تستهلك الطاقة والمواد الغذائية تتنافس مع الأنسجة السليمة، مما يُجوع الجسم من الطاقة. ومع ضمور العضلات والدهون وأنسجة أخرى، يمكن لضحايا السرطان أن ينهاروا إلى درجة هزال مقلقة تُسمى الهزال السرطانى[25] (كا-كيكس-يا)، مما يؤدى إلى الإرهاق، الغيبوبة، والموت بسبب الإنهاك الشديد.

العلاج

عادةً ما يُعالج السرطان بالجراحة، العلاج الكيميائى، أو العلاج الإشعاعى. فى أسوأ الحالات، يمكن أن يصبح الجسم مليئًا بالأورام، والتى بدأت جميعها من خلية واحدة فى مكان مثل الرئة، الثدى، الجلد، أو القولون. فى هذه المرحلة، عادةً لا يمكن تحقيق الشفاء بالجراحة، وقد يكون الأمل الأفضل فى شيء يعمل على مستوى الجسم بأكمله مثل العلاج الكيميائى، العلاج الإشعاعى، أو العلاج المناعى.

من المبسط والمضلل أن نأمل فى "علاج للسرطان". فالسرطان ليس مرضًا واحدًا ولن يكون له علاج واحد. لقد تم شفاء العديد من الأشخاص من بعض أنواع السرطان، فى حين أن أنواعًا أخرى من السرطان لم تستجب بعد لمهارات أطباء الأورام، ولا تزال أشكال جديدة من السرطان تتطور. بعض المجالات النشطة فى أبحاث السرطان اليوم هى الأدوية المسماة مثبطات تكوين الأوعية الدموية التى تمنع الأورام من نمو شبكة كثيفة من الأوعية الدموية التى تحتاجها للبقاء؛ العلاج المناعى للسرطان، برمجة خلايا المناعة الخاصة بالشخص (خلايا T) للتعرف الانتقائى ومهاجمة خلايا الورم؛ و علم الجينوم السرطانى، تفصيل العلاج وفقًا للمكونات الجينية الفريدة لكل مريض.

الوفيات

حوالى واحد من كل خمسة منا فى الولايات المتحدة سيموت بسبب السرطان—وهى من أعلى المعدلات فى العالم—مع أعلى خمسة أسباب للوفاة هى سرطان الرئة، القولون والمستقيم، الكبد، المعدة، والثدى، بترتيب تنازلى. إذا تُرك السرطان دون علاج، فإنه يكاد يكون دائمًا مميتًا. لماذا؟

- لسبب واحد، تستبدل الأورام الخبيثة الأنسجة الوظيفية فى الأعضاء الحيوية. يمكن لسرطان الكلى أن يدمر معظم وحدات ترشيح الدم (النيفرونات) فى الكلى، مما يسمح بتراكم الفضلات السامة إلى مستويات قاتلة (الشكل 4.23). يمكن لسرطان الرئة أن يدمر الكثير من نسيج تبادل الغازات (الحويصلات الهوائية) فى الرئتين، مما يجعل التنفس أكثر صعوبة تدريجيًا، مما يؤدى إلى انخفاض مستوى الأكسجين فى الدم وفشل متعدد الأعضاء بسبب موت الأنسجة التى تعانى من نقص الأكسجين وتسمم ثانى أكسيد الكربون.
- يمكن للأورام المتنامية أن تضغط بشكل قاتل على الأعضاء الحيوية مثل الدماغ. يمكنها ضغط الشعب الهوائية ومنع التهوية الكافية للرئتين، أو ضغط الأوعية الدموية الرئيسية وإيقاف الدورة الدموية. على سبيل المثال، يمكن لأورام المبيض أن تنمو إلى حجم البرتقال، أو حتى الجريب فروت، وأكبر. فى التجويف الحوضى المزدحم، يمكنها ضغط الشرايين والأوردة الرئيسية التى تخدم الأطراف السفلية، مما يسبب فشلًا دمويًا كارثيًا.
- يمكن لتآكل الأوعية الدموية بواسطة الأورام أن يسبب نزيفًا، مع التقيؤ أو السعال مع دم ونزيف غير مرئى فى تجاويف الجسم.
- يُضعف السرطان الجهاز المناعى، مما يترك الجسم عرضة لهجوم العدوى الانتهازية التى يمكن للشخص السليم صدها.

[25] كاس = سيء؛ إكسيا = حالة

دليل الدراسة

قيّم نتائج تعلمك

لاختبار معرفتك، ناقش المواضيع التالية مع شريك دراسة أو كتابةً، ويفضل من الذاكرة.

4.1 الحمض النووي والحمض النووي الريبي — الأحماض النووية

1. الاسم العام للوحدات الأحادية التي تُكوّن الحمض النووي والحمض النووي الريبي؛ المكونات الهيكلية الثلاثة العالمية لكل وحدة أحادية؛ البيورينات والبيريميدينات المشاركة في تركيب الحمض النووي والحمض النووي الريبي؛ وكيف يختلف البيورين عن البيريميدين
2. هيكل اللولب المزدوج للحمض النووي (DNA)؛ ما الذي يُمسك بين خيطَي اللولب معًا؛ لماذا يحتوي الحمض النووي عادةً على أزواج قواعد A —T و C —G فقط (وليس A —C أو G —T)؛ وقانون التزاوج التكميلي للقواعد
3. العدد التقريبي للجينات في الجينوم البشري؛ النسبة المئوية للحمض النووي التي تتكون من جينات؛ وإلى أي مدى وبأي طرق قد يخدم الحمض النووي المتبقي غرضًا معينًا
4. كيف يتم دمج الحمض النووي والبروتين لتشكيل الكروماتين؛ كيف يُلف الكروماتين ويُلف بشكل مفرط ليتناسب مع نواة الخلية المضغوطة ويقلل من الضرر؛ ودور الهيستونات والنيوكليوزومات في تنظيم الكروماتين
5. هيكل كروموسوم الطور الاستوائي وعدد الكروموسومات في الخلية النموذجية
6. كيف يختلف الحمض النووي الريبي (RNA) عن الحمض النووي (DNA) في الهيكل والوظيفة، وأنواع الحمض النووي الريبي الثلاثة المشاركة في تخليق البروتين

4.2 الجينات وأفعالها

1. تعريف *الجين*؛ كيف ترتبط الجينات بتسلسل الأحماض الأمينية للبروتينات؛ ولماذا لا يمكن القول إن كل جين يشفر لبنية البروتين؛ ولماذا لا يتم ترميز كل بروتين بجين فريد خاص به
2. تعريفات *الجينوم*، *علم الجينوم*، و *الطب الجينومي*
3. تنظيم النيوكليوتيدات في ثلاثيات DNA؛ كيف ترتبط هذه ولكن تختلف عن الكودونات في mRNA؛ عدد الكودونات؛ وكودونات التوقف ووظيفتها
4. كيف يربط الشيفرة الجينية كودونات mRNA ببنية البروتين
5. عملية ونتيجة النسخ الجيني؛ الإنزيم الذي يقوم بها؛ الفرق بين pre-mRNA و mRNA؛ وأهمية الإنترونات والإكسونات
6. كيف يفسر التوصيل البديل جزئياً سبب تفوق تنوع البروتينات البشرية بشكل كبير على عدد الجينات البشرية
7. عملية ونتيجة الترجمة الجينية؛ أدوار mRNA و tRNA والريبوسومات في الترجمة
8. التعديل بعد الترجمة للبروتينات، مكان حدوثه، وكيف يتم تعبئة البروتينات الجديدة المخصصة للاستخدام خارج الخلية وإطلاقها من الخلية
9. كيف يمكن تشغيل أو إيقاف التعبير الجيني وفقًا لوظائف أنواع مختلفة من الخلايا أو الاحتياجات الفسيولوجية التي تتغير مع مرور الوقت، مثل الحاجة المؤقتة لحليب الثدي
10. كيف يتم تنظيم تخليق المركبات غير البروتينية مثل الكربوهيدرات والستيرويدات بواسطة الجينات، على الرغم من أن الجينات ترمز فقط لـ RNA أو البروتين

4.3 تكرار DNA ودورة الخلية

1. لماذا يجب على كل جيل من الخلايا تخليق DNA جديد على الرغم من أن عدد الكروموسومات يبقى ثابتًا من جيل إلى جيل
2. التكرار نصف المحافظ، الإنزيمات التي تقوم به، ولماذا يؤدي إلى جزيئ DNA يحتوي كل منهما على بوليمر نيوكليوتيد قديم وآخر جديد
3. ما هو الطفرة وكيف تكتشف الخلية وتصحح معظم الطفرات التي تنشأ أثناء تكرار DNA؛ والتبعات المتنوعة للطفرات غير المصححة
4. المراحل الأربع لدورة الخلية، ما يحدث في كل مرحلة، وأي المراحل تحدث خلال الطور البيني
5. وظائف الانقسام الميتوزي؛ مراحله الأربع؛ ما يحدث في كل مرحلة؛ ولماذا يتم تقليل كمية DNA في الخلية إلى النصف بواسطة الانقسام الميتوزي، مع بقاء عدد الكروموسومات كما هو
6. التمايز الخلوي وكيف يتداخل ولكنه يختلف عن الطور النهائي (التيلوفاز)
7. كيف يمكن تحفيز أو تثبيط الانقسام الخلوي وفقًا للحاجة إلى صيانة الأنسجة أو نموها
8. كيف تنظم السيكلينات والكينازات المعتمدة على السيكلين دورة الخلية

4.4 الكروموسومات والوراثة

1. تعريف *الوراثة*
2. تنظيم الكاريوتايب؛ عدد أزواج الكروموسومات المتماثلة لدى الإنسان الكروموسومات؛ لماذا تحدث الكروموسومات في أزواج متماثلة؛ والاختلافات بين الخلايا أحادية المجموعة الصبغية (haploid) والخلايا ثنائية المجموعة الصبغية (diploid) وبين الخلايا الجرثومية والخلايا الجسدية
3. الاختلافات بين الكروموسومات الجسدية وكروموسومات الجنس، وأي كروموسومات الجنس توجد في الذكور والإناث
4. الأليلات السائدة والمتنحية، الفرق بين الأفراد المتجانسين (homozygous) وغير المتجانسين (heterozygous)، ولماذا يمكن للشخص أن يكون متجانسًا لبعض الأليلات وغير متجانس لأخرى
5. العلاقة بين النمط الجيني (genotype) والنمط الظاهري (phenotype)، الفرق بينهما، ولماذا لا يحدد النمط الظاهري فقط النمط الجيني
6. لماذا يمكن لصفة متنحية أن تتخطى جيلًا، مع أمثلة؛ ما المقصود بـ *الحامل*
7. الاختلافات بين النمط الجيني (الجينوتيب)، الجينوم، ومجموعة الجينات؛ لماذا لا يمكن أن يكون النمط الجيني أبدًا من أكثر من أليلين لنفس الجين، بينما يمكن لمجموعة الجينات أن تحتوي على ثلاثة أليلات أو أكثر لنفس الجين
8. كيف يختلف التماثل السائد المشترك (التشارك في السيادة) والتماثل السائد غير الكامل عن السيادة البسيطة لأليل واحد
9. ما الذي تعنيه الوراثة متعددة الجينات (التعدد الجيني) والتعدد التأثيري (تعدد الوظائف) بشأن العلاقة بين النمط الظاهري المعين وجيناته المرتبطة به؛ مع أمثلة على كلا الحالتين
10. لماذا تحدث بعض الصفات أكثر عند الذكور مقارنة بالإناث، اسم هذه الظاهرة، وأمثلة عليها
11. لماذا قد لا يظهر بعض الأفراد النمط الظاهري المتوقع من نمطهم الجيني؛ الاسم الذي يطلق على هذا التعبير غير الكامل لبعض الأنماط الجينية
12. لماذا لا يمكن القول إن أي صفة بشرية هي نتيجة حصرية للجينات أو للبيئة؛ مع مثال يوضح ذلك
13. لماذا لا يمكن القول إن الأليلات السائدة هي الأكثر شيوعًا في السكان والأليلات المتنحية أقل شيوعًا؛ مع أمثلة تدعم هذه النقطة
14. معنى *التعبير الجيني* وتنوع العوامل التي تؤثر عليه
15. كيف تؤثر الوراثة والصحة ليس فقط بالتغيرات الجينية (الطفرات) ولكن أيضًا بالتغيرات فوق الجينية

دراسة دليل

اختبار استدعاء معلوماتك

الإجابات فى الملحق أ

1. إنتاج أكثر من صفة ظاهرية واحدة بواسطة جين واحد يُسمى
أ. تعدد التأثيرات الجينية (Pleiotropy).
ب. الحتمية الجينية (Genetic determinism).
ج. التشارك السائد (Codominance).
د. الاختراقية (Penetrance).
هـ. إعادة التركيب الجينى.

2. عندما يقرأ الريبوسوم كودونًا على الـ mRNA، يجب أن يرتبط بـ ــــــ من الـ tRNA المقابل.
أ. كودون البداية
ب. كودون التوقف
ج. إنترون
د. إكسون
هـ. الشفرة المضادة

3. تتم الوظائف الطبيعية لخلية الكبد—تصنيع البروتينات، وإزالة السموم، تخزين الجليكوجين، وما إلى ذلك—أثناء
أ. الطور الانفصالى
ب. الطور النهائى.
ج. الطور G1.
د. الطور G2.
هـ. طور التضاعف.

4. شريطان متماثلان وراثياً من كروموسوم الطور الاستوائى، متصلان عند السنترومير، هما
أ. الأجسام القاعدية (كينيتوكور).
ب. الأجسام المركزية.
ج. الكروماتيدات الشقيقة.
د. الكروماتيدات المتماثلة.
هـ. النيوكليوسومات.

5. أى مما يلى *لا* يوجد فى الحمض النووى DNA؟
أ. ثيمين
ب. فوسفات
ج. سيتوزين
د. ديوكسيريبوز
هـ. يوراسيل

6. يتم تنفيذ النسخ الجينى بواسطة
أ. الريبوسومات.
ب. إنزيم بوليميراز RNA.
ج. إنزيم بوليميراز DNA.
د. هيليكاز.
هـ. المرافقون (chaperones).

7. يأتى دور المرافق فى
أ. طى البروتين الجديد إلى هيكله الثلاثى الثانوى.
ب. الحفاظ على تنظيم الحمض النووى داخل النواة.
ج. مرافقة الكروماتيدات الشقيقة إلى خلايا ابنة متقابلة أثناء الانقسام الخيطى.
د. إصلاح الحمض النووى الذى تضرر بواسطة العوامل المسببة للطفرات.
هـ. توجيه خلايا السرطان المنتشرة إلى وجهتها.

8. الأليل الذى لا يُعبّر عنه ظاهريًا فى وجود أليل بديل لنفس الجين يُقال عنه إنه
أ. متناظر السائدة (codominant).
ب. يفتقر إلى النفاذية (lacking penetrance).
ج. متغاير الزيجوت.
د. متنحى.
هـ. تابع.

9. يحدث النسخ شبه المحافظ خلال
أ. النسخ.
ب. الترجمة.
ج. التعديل بعد الترجمة.
د. الطور S من دورة الخلية.
هـ. الانقسام الخيطى.

ملخص حول الحمض النووى ومفاهيم الوراثة نظرة عامة يستعرض هذا الملخص الهياكل والوظائف الأساسية للحمض النووى (DNA)، وتطور الجينوم البشرى، وتكوين الكروماتين، والاختلافات بين الحمض النووى الريبى (RNA) والحمض النووى

10. تسبب العوامل المسببة للطفرات أحيانًا عدم ضرر للخلايا لجميع الأسباب التالية *ما عدا*
أ. بعض العوامل المسببة للطفرات هى منتجات طبيعية وغير ضارة تنتجها الخلية نفسها.
ب. معظم الحمض النووى البشرى لا يشفر لأى بروتينات.
ج. آليات إصلاح الحمض النووى فى الحالسم تكتشف وتصحح الضرر الجينى.

د. التغيير فى الكودون لا يغير دائماً الحمض الأمينى المشفر به.
هـ. بعض الطفرات تغير بنية البروتين بطرق ليست حرجة للوظيفة الطبيعية.

11. الانقسام السيتوبلازمى فى نهاية الانقسام الخيطى يسمى ــــــ.
12. فى نقاط التفتيش لدورة الخلية، ترتبط بروتينات تسمى السيكلينات بـ ــــــ وتفعيل تفاعلات تمكّن الخلية من الانتقال إلى المرحلة التالية من الدورة.
13. نمط قواعد النيتروجين فى mRNA التى تمثل الأحماض الأمينية العشرين للبروتين يسمى ــــــ.
14. عدة ريبوسومات مرتبطة بـ mRNA واحد، وهى جميعها تقوم بالنسخ، تشكل تجمعًا يسمى ــــــ.
15. الإنزيم الذى ينتج pre-mRNA من التعليمات فى DNA هو ــــــ.
16. كل الـ DNA فى مجموعة أحادية الصيغة الكروموسومات يسمى ــــــ.
17. فى الطور التمهيدى، تحتوى الخلية على ــــــ الكروماتيدات، ــــــ الكروموسومات، ــــــ جزيئات الحمض النووى. (كم عدد من كل منها؟
18. الحبيبة السيتوبلازمية للـ RNA والبروتين التى تقرأ الرسالة فى mRNA هى ــــــ.
19. تتحفز الخلايا على الانقسام بواسطة إشارات كيميائية تُسمى ــــــ.
20. جميع الكروموسومات باستثناء كروموسومات الجنس تُسمى ــــــ.

بناء مفرداتك الطبية

الإجابات فى الملحق أ

اذكر معنى كل عنصر من عناصر الكلمة، وقدم مصطلحًا طبيًا من هذا الفصل يستخدمه أو يستخدم نسخة بسيطة منه.

1. الو-
2. داكتيلو-
3. ديبلو-
4. هابلو-
5. هيتيرو-
6. كاريو-
7. ميتا-
8. مورفو-
9. موتا-
10. بولى-

دليل الدراسة

ما الخطأ في هذه العبارات؟

الإجابات في الملحق أ

اشرح بإيجاز لماذا كل من العبارات التالية خاطئة، أو أعد صياغتها لتصبح صحيحة.

1. البروتينات المخصصة للتصدير من الخلية تصنعها الريبوسومات على سطح جهاز جولجي.
2. الستيرويدات والكربوهيدرات والفوسفوليبيدات مشفرة بأنواع مختلفة من الجينات عن الجينات التي تشفر البروتينات.
3. نظرًا لأن اليوراسيل والثيمين متشابهان جدًا، فإن جزيء RNA سيكون له تقريبًا نفس الوزن الجزيئي لقطعة من DNA بنفس الطول.
4. كل حمض أميني في البروتين يُمثّل بزوج قواعد فريد خاص به في DNA.
5. كل جين يشفر لبروتين واحد فقط.
6. ينص قانون التزاوج التكميلي للقواعد على الطريقة التي تتزاوج بها القواعد في كودون mRNA مع قواعد الأنتيكودون في tRNA أثناء الترجمة.
7. كل الحمض النووي البشري يرمز لتخليق البروتينات.
8. جميع الطفرات تؤدي إلى إنتاج بروتينات معيبة وبالتالي فهي ضارة.
9. الذكور لديهم كروموسوم جنسي واحد فقط بينما الإناث لديهن اثنان.
10. يمكن نسخ الجين بواسطة بوليميراز RNA واحد فقط في كل مرة.

اختبر فهمك

1. لماذا لا يكون الشكل المتشابك والمكثف للكروموسومات الذي يُرى في الطور الاستوائي مناسبًا لمرحلة G_1 من دورة الخلية؟ لماذا لا يكون الكروماتين المبعثر بدقة في مرحلة G_1 مناسبًا للانقسام الخلوي؟
2. افترض أن امرأة كانت متغايرة الزيجوت ل نوع الدم A وكان زوجها يحمل نوع الدم AB. بمساعدة مربع بونيت، اشرح ما نوع)أنوا ع(الدم التي قد يحملها أطفالهم.
3. بالنظر إلى المعلومات في هذا الفصل، قد م حجة بأن التطور ليس ممكنًا فقط بل ح تميًا.)*تلميح:* راجع تعريف *التطور* في الفصل 1.)
4. ما هو الحد الأدنى لطول)العدد التقري بي للقواعد(لحمض mRNA الذي يشفر لبروتي ن طوله 300 حمض أميني؟
5. كانت كتب الأحياء تعلّم سابقًا مفهوم "جين و احد، بروتين واحد" — أي أن الجين هو جزء من الحمض النووي DNA يشفر لبروتين واحد فق ط، وكل بروتين يمثله جين منفصل وفريد. ناقش الأدلة التي تُظهر أن هذا لم يعد يُعتبر صحيحًا.

CHAPTER 5

الأنسجة البشرية



The lining of the small intestine, showing simple columnar epithelium with
خلايا الكاس المفرزة للمخاط)اللون الأرجواني( )المجهر الضوئي(
فيكتور ب. إيروسشينكو

مخطط الفصل

رؤى أعمق

Anatomy & Physiology Revealed 4.0
الوحدة 3: الأنسجة

هنا ندرس الفئات الأربعة للأنسجة؛ والاختلافات داخل كل فئة؛ وكيفية التع رف على أنواع الأنسجة مجهريًا وربط تشريحها المجهرى بوظيفتها؛ وكيفية ترتيب الأنسجة لتشكيل عضو؛ وكيف تتغير الأنسجة أثناء نموها أو انكما شها أو تحولها من نوع نسيجى إلى آخر خلال حياة الفرد؛ وأنماط تدهور الأن سجة وموتها. علم الأنسجة يجسر الفجوة بين علم الخلايا فى الفصول السا بقة ونهج نظام الأعضاء فى الفصول التالية.

دراسة الأنسجة 5.1

الأهداف التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. سمِّ الفئات الأربع الأساسية التى تُصنّف إليها جميع الأنسجة البال غة؛

ب. سمِّ الطبقات الجرثومية الجنينية الثلاث وبعض الأنسجة البالغة المشتقة من كل منها؛ و

ج. تصور الشكل الثلاثى الأبعاد لبنية من مقطع نسيجى ثنائى الأبعاد.

5.1أ الفئات الأساسية للأنسجة

النسيج هو مجموعة من الخلايا المتشابهة ومنتجات الخلايا التى تنشأ من نفس منطقة الجنين وتعمل معًا لأداء دور هيكلى أو فسيولوجى م حدد فى عضو ما. الأنسجة الأساسية الأربعة—الطهارية، الصامة، الع صبية، والعضلية—موجزة فى الجدول 5.1. تختلف فى أنواع ووظائف خلاياها، وخصائص المصفوفة (المادة خارج الخلية) التى تحيط بالخلا يا، والنسبة النسبية للمساحة التى تشغلها الخلايا والمصفوفة. فى الع ضلات والطهارة، تكون الخلايا متقاربة جدًا بحيث تكاد المصفوفة تكو ن غير مرئية، لكن فى معظم الأنسجة الصامة، تشغل المصفوفة مسا حة أكبر بكثير من الخلايا.

مراجعة

- تفصل هذه الفصل بنية الأغشية المصلية والمخاطية فى الجسم؛ قم بتحديث ذاكرتك حول أماكن وجود هذه الأغشية فى الأطلس A، القسم A.3.
- تتميز الأنسجة الصامة بكمية كبيرة من المادة الأساسية، والتى من أهم مكوناتها الجليكوبروتينات والبروتيوغليكانات التى تم تقديمها فى القسم 2.4c.
- يُستخدم مصطلح أشكال الخلايا الذى تم تقديمه فى الشكل 3.1 فى ت سمية الأنسجة الطلائية فى هذا الفصل.
- الحويصلات الإفرازية وعملية الإفراز الخلوى (انظر القسم 3.3f) هى مركز ية لفهم أنواع الغدد التى سيتم تقديمها فى هذا الفصل.

مع وجود 50 تريليون خلية وآلاف الأعضاء، قد يبدو جسم الإنسان هيكلًا معقدًا للغاية. ولحسن حظ صحتنا وطول عمرنا وفهمنا لأنف سنا، لم يثبط علماء الأحياء فى الماضى عزيمتهم بسبب هذا، بل اكتشفوا أ نماطًا جعلته أكثر قابلية للفهم.

أحد هذه الأنماط هو أن هذه التريليونات من الخلايا تنتمى إلى حوالى 200 نوع فقط، وهى منظمة فى أنسجة تنقسم إلى أربع فئات رئيسية فقط — ا لنسيج الطلائى، والنسيج الصام، والنسيج العصبى، والنسيج العضلى — ع لى الرغم من وجود ما لا يقل عن 23 نوعًا فرعيًا من هذه الأنواع الأربعة.

تستمد الأعضاء وظائفها ليس فقط من خلاياها، بل من كيفية تنظيم ا لخلايا فى أنسجة. الخلايا متخصصة فى مهام معينة: انقباض العضلات، الد فاع، إفراز الإنزيمات، وهكذا. لا يمكن لأى نوع خلية أن يؤدى جميع وظائف الجسم الحيوية. لذلك، تعمل الخلايا معًا فى مهام معينة وتشكل أنسجة تؤد ى وظيفة محددة، مثل الإشارات العصبية أو هضم المغذيات. العضو هو ه يكل ذو حدود واضحة يتكون من نوعين أو أكثر من الأنسجة.

دراسة الأنسجة وكيفية تنظيمها فى الأعضاء تسمى علم الأنسجة (الت شريح المجهرى) — وهو موضوع هذا الفصل.

[1] *histo*= نسيج؛ *logy* = دراسة

الجدول 5.1 الفئات الأساسية الأربعة للأنسجة

النوع	التعريف	المواقع التمثيلية
طهارى	نسيج مكون من طبقات من الخلايا المتقاربة التى تغطى أسطح الأعضاء، وتشكل الغدد، وتعمل على الحماية والإفراز والامتصاص	البشرة البطانة الداخلية للجهاز الهضمى الكبد وغدد أخرى
نسيج صام	نسيج يحتوى عادةً على مصفوفة أكثر من حجم الخلايا، وغالبًا ما يكون متخصصًا لدعم وحماية الأعضاء وربط الأنسجة والأعضاء ببعضها البعض	الأوتار والأربطة الغضاريف والعظام الدم
عصبى	نسيج يحتوى على خلايا قابلة للاستثارة ومتخصصة فى النقل السريع للمعلومات المشفرة إلى خلايا أخرى	الدماغ الحبل الشوكى الأعصاب
عضلى	نسيج مكون من خلايا عضلية طويلة وقابلة للاستثارة ومتخصصة فى الانقباض	العضلات الهيكلية القلب (العضلة القلبية) جدران الأحشاء (العضلة الملساء)

صور (طهارية، عصبية، عضلية): إد ريشكى/مكتبة الصور/ستون/غيتى إيماجز؛ (نسيج صام): دينيس ستريت/ماكجرو هيل

المصفوفة مكونة من بروتينات ليفية، وعادةً من هلام شفاف يُعر ف بأسماء مختلفة مثل المادة الأرضية، سائل النسيج، السائل خارج ا لخلوي)ECF(، أو السائل البيني[2]. تحتوي المادة الأرضية على الماء، ا لغازات، المعادن، المغذيات، الفضلات، الهرمونات، ومواد كيميائية أ خرى. هذا هو الوسط الذي تحصل منه جميع الخلايا على الأكسجين وا لمغذيات واحتياجاتها الأخرى، والذي تفرز فيه الخلايا الفضلات الأيض ية والهرمونات ومنتجات أخرى. في الغضروف والعظم، تكون المصفو فة مادة مطاطية أو صلبة بدلاً من هلام أو سائل.

باختصار، يتكون النسيج من خلايا ومصفوفة، وتتكون المصفوفة من ألياف ومادة أرضية.

5.1ب الأنسجة الجنينية

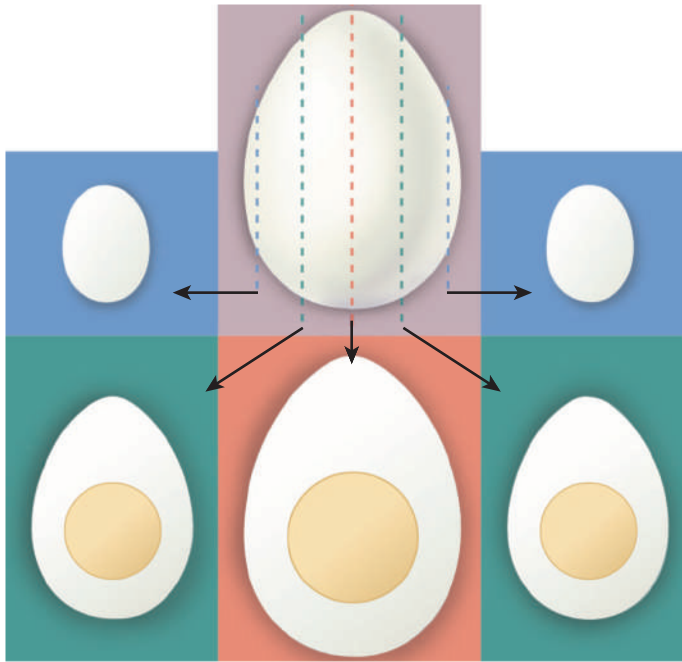
يبدأ التطور البشري بخلية واحدة، وهي البويضة المخصبة، التي تنقسم قريبًا لتنتج العديد من الخلايا الصغيرة المتطابقة. تظهر الأنسجة الأو لى عندما تبدأ هذه الخلايا في تنظيم نفسها في طبقات—أولاً طبقتان، وسرعان ما تصبح ثلاث طبقات تُسمى الطبقات الجرثومية الأولية، ا لتي تنشأ منها جميع أنسجة الجسم الناضجة. تُسمى الطبقات الجرثوم ية الأولية الثلاثة بالطبقة الخارجية)الإكتوديرم[3](، والطبقة الوسطى)الم يسوديرم[5](، والطبقة الداخلية)الإندوديرم[4](. الإكتوديرم هو طبقة خارجية تعطي نشأة البشرة والجهاز العصبي.

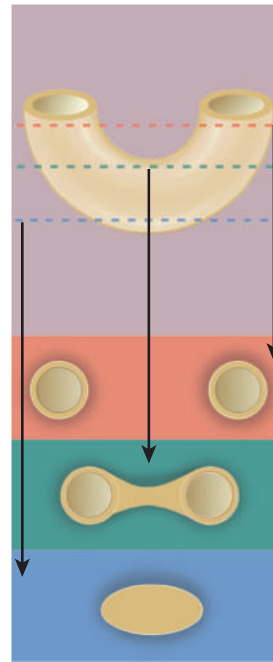
الطبقة الداخلية، الإندوديرم، تعطي نشأة الأغشية المخاطية للمسالك ا لهضمية والتنفسية والغدد الهضمية، من بين أشياء أخرى. بين هاتين الطبقتين توجد الميسوديرم، وهي طبقة من الخلايا الأقل تنظيمًا. تتح ول الميسوديرم في النهاية إلى نسيج هلامي يُسمى الميزنشيم، ويتكو ن من ألياف كولاجين دقيقة ورقيقة)بروتين(وخلايا ميزنشيمية متفرع ة مدمجة في مادة أرضية. الميزنشيم يعطي نشأة العضلات القلبية وا لعظام والدم، من بين أنسجة أخرى.)يتم تفصيل تطور الأنسجة الثلاثة الأولية في الجنين في قسم "تكوين الجنين" في القسم 29.1f.(تتكون معظم الأعضاء من أنسجة مشتقة من طبقتين أو أكثر من الطبقات ا لجرثومية الأولية. يتناول بقية هذا الفصل الأنسجة "الناضجة" التي تو جد من الطفولة وحتى البلوغ.

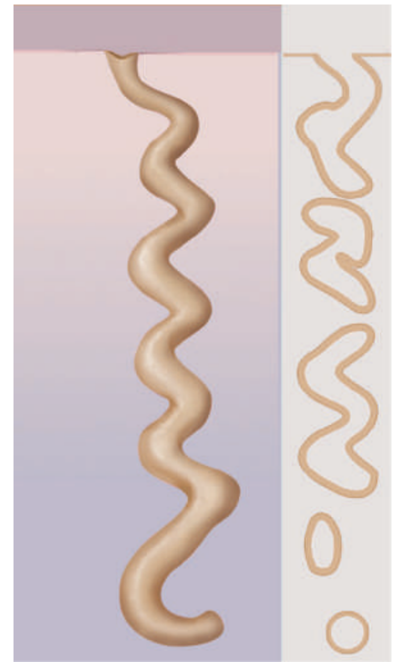
5.1c تفسير مقاطع الأنسجة

في دراستك للهستولوجيا، قد تُعرض عليك تحضيرات نسيجية مختل فة مثبتة على شرائح مجهرية. معظم هذه التحضيرات هي شرائح رقي قة تُسمى مقاطع نسيجية. أفضل فهم تشريحي يعتمد على القدرة عل ى استنتاج البنية ثلاثية الأبعاد لعضو ما من هذه المقاطع ثنائية الأبعا د)الشكل 5.1(. تعتمد هذه القدرة بدورها على الوعي بكيفية تحضير ا لأنسجة للدراسة.

[2] *inter* = بين؛ *stit* = الوقوف
[3] *ecto* = خارجي؛ *derm* = جلد
[4] *endo* = داخلي؛ *derm* = جلد
[5] *meso* =وسط؛ *derm*= جلد





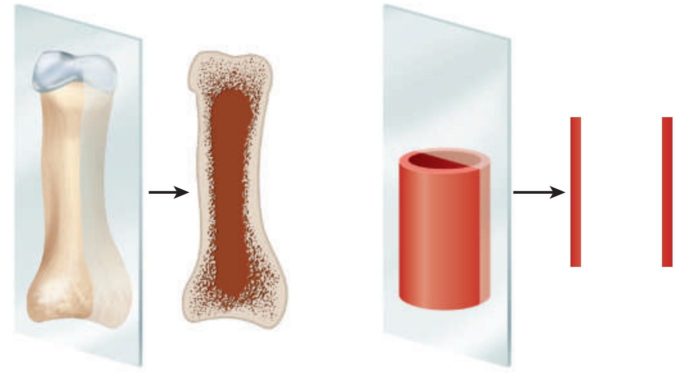


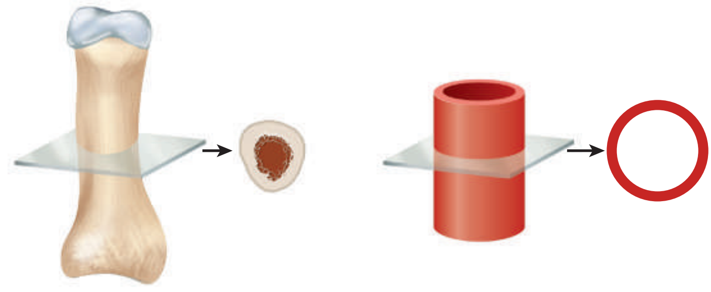
الشكل 5.1 تفسير ثلاثي الأبعاد للصور ثنائية الأبعاد.)أ(بيضة مسلوقة. المقاطع العرضية)أعلى اليسار واليمين(قد تفوت الصفار، تمامًا كما قد تفوت م قطع نسيجي نواة أو بنية أخرى.)ب(مكرونة الكوع، التي تشبه العديد من القنوات والأنابيب المنحنية. المقطع البعيد عن الانحناء قد يعطي انطباعًا بوجود أ نبوبين منفصلين؛ المقطع القريب من الانحناء يظهر تجويفين متصلين؛ والمقطع الأبعد قد يفوت التجويف تمامًا.)ح(غدة ملفوفة في ثلاثة أبعاد وكيف ستبدو في مقطع نسيجي عمودي لأنسجة مثل بطانة الرحم.

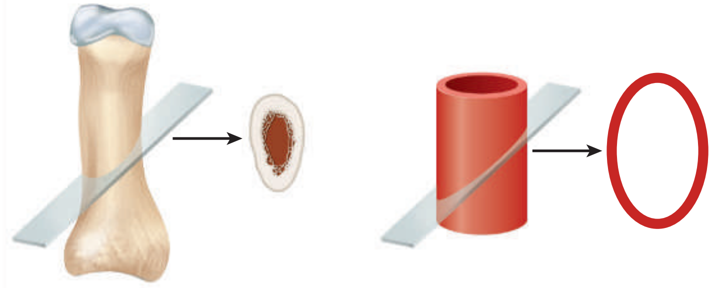
يستخدم علماء الأنسجة مجموعة متنوعة من التقنيات للحفظ، وا لتقطيع)التشريح(، وتلوين الأنسجة لإظهار تفاصيلها الهيكلية بأوضح صورة ممكنة. تُحفظ عينات الأنسجة في مادة مثبتة — وهي مادة كيم يائية مثل الفورمالين تمنع التحلل. بعد التثبيت، تُقطع معظم الأنسجة إلى شرائح عادةً بسُمك خلية أو خليتين فقط. التقطيع ضروري للسما ح بمرور ضوء المجهر حتى لا تتداخل الصورة بسبب وجود طبقات ك ثيرة من الخلايا المتراكبة. ثم تُثبت الشرائح على شرائح زجاجية وتُلوّن ا صطناعيًا بصبغات نسيجية لتعزيز التفاصيل. إذا لم تُصبغ، تظهر مع ظم شرائح الأنسجة بلون رمادي ضبابي. مع الصبغات التي ترتبط بمك ونات مختلفة من النسيج، قد ترى السيتوبلازم باللون الوردي؛ والنوى باللون البنفسجي؛ وألياف البروتين باللون الأزرق أو الأخضر أو البني ال ذهبي، حسب الصبغة المستخدمة.

يقلل تقطيع النسيج من هيكل ثلاثي الأبعاد إلى سلسلة من الشرا ئح ثنائية الأبعاد. يجب أن تضع هذا في اعتبارك وتحاول ترجمة الصور ة المجهرية إلى صورة ذهنية للهيكل الكامل. مثل البيضة المسلوقة وا لمعكرونة المرفقة في الشكل 5.1، قد يبدو الجسم مختلفًا تمامًا عند قطعه على مستويات مختلفة، أو *مستويات التقطيع*. غالبًا ما يُجزأ أن بوب ملفوف، مثل غدة الرحم)الشكل 5.1ح(، إلى أجزاء متعددة لأنه يتعرج داخل وخارج مستوى التقطيع. ومع ذلك، يدرك المشاهد المتم رس أن الأجزاء المنفصلة هي أجزاء من أنبوب واحد يلتف نحو سطح ا لعضو. لاحظ أن شريحة سطحية عبر بيضة مسلوقة قد تفوت الصفار، تمامًا كما قد تفوت شريحة نسيج نواة خلية رغم وجودها.

العديد من الهياكل التشريحية أطول في محور واحد مقارنة بمحور آخر — مثل عظم العضد والمريء على سبيل المثال. يُسمى النسيج ا لمقطوع على محوره الطويل مقطع طولي)l.s.(، والمقطع المقطوع ع موديًا عليه هو مقطع عرضي)c.s.(. المقطع المقطوع بزاوية بين المق طع الطولي والعرضي هو مقطع مائل.
يوضح الشكل 5.2 كيف تبدو بعض الأعضاء عند تقطيعها على كل من هذ ه المستويات.
ليست كل التحضيرات النسيجية شرائح. قد تُحضّر الأنسجة السا ئلة مثل الدم والأنسجة اللينة مثل الحبل الشوكي كـ مسحات، حيث يُفرك النسيج أو يُمد على الشريحة بدلاً من تقطيعه. بعض الأغشية وا لأنسجة الشبيهة بالشبكة، مثل النسيج الرخو في الشكل 5.14، تُثبت أحيانًا كـ مسطحات، حيث يُفرشُ النسيج على الشريحة، مثل وضع قطعة صغيرة من ورق المناديل أو خصلة من الوبر على قطعة زجاج.







الشكل 5.2 ثلاثة مستويات للقطع. يُستخدم عظم ووعاء دموي لربط المظهر ا لمقطعي ثنائي الأبعاد بالبنية ثلاثية الأبعاد.)أ(مقاطع طولية.)ب(مقاطع عرضية.)ح(مقاطع مائلة.

هل تصنف مقاطع البيض في الشكل السابق كمقاطع طولية، عرضية، أ م مائلة؟ كيف سيبدو البيض إذا تم قطعه في المستويين الآخرين؟

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

1. صنّف كلًا مما يلي ضمن واحدة من الفئات الأربعة الأساسية للأن سجة: سطح الجلد، الدهون، الحبل الشوكي، معظم أنسجة القلب، العظم، الأوتار، الدم، والبطانة الداخلية للمعدة.
2. مم تتكون الأنسجة بالإضافة إلى الخلايا؟
3. ما هي الطبقة الجرثومية الجنينية التي تنشأ منها الأنسجة العصبية؟ ومن أين تنشأ الكبد؟ ومن أين تنشأ العضلات؟
4. ما هو المصطلح المستخدم لشريحة رقيقة ملونة من نسيج مثبتة ع لى شريحة مجهر؟

التى تزودها بالمغذيات وتزيل الفضلات.
تطهر الخلايا الطلائية الأقرب إلى النسيج الضام معدل انقسام خلوى مرتفعًا. وهذا يسمح للأنسجة الطلائية بإصلاح نفسها بسرعة— وهى قدرة ذات أهمية خاصة فى الأنسجة الطلائية الواقية التى تكون عرضة بشدة لإصابات مثل خدوش الجلد وتآكل حمض المعدة.
بين النسيج الطلائى والنسيج الضام الكامن توجد طبقة تسمى ا لغشاء القاعدى. تحتوى على الكولاجين، الجليكوبروتينات، ومركبات أ خرى من البروتينات والكربوهيدرات، وتندمج مع بروتينات أخرى فى ا لنسيج الضام. يعمل الغشاء القاعدى على تثبيت النسيج الطلائى بالن سيج الضام؛ ويتحكم فى تبادل المواد بين النسيج الطلائى والأنسجة ا لكامنة تحته؛ ويربط عوامل النمو من الأسفل التى تنظم تطور النسيج الطلائى. السطح الذى يواجه الغشاء القاعدى فى الخلية الطلائية هو ا لسطح القاعدى، أما السطح الذى يواجه بعيدًا عنه نحو سطح الجسم أو التجويف الداخلى)اللمعة(للعضو فهو السطح القمى، وبين هذين، ا لجانب الجانبى للخلية يسمى السطح الجانبى.

النسيج الطلائى 5.2

الأهداف التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف الخصائص التى تميز الطهارة عن أنواع الأنسجة الأخرى؛
ب. سرد وتصنيف ثمانية أنواع من الطهارة، التمييز بينها وذكر أماكن وجود كل نوع فى الجسم؛
ج. شرح كيف ترتبط الاختلافات الهيكلية بين أنواع الطهارة بالاختلافات الوظيفية؛ و
د. التعرف بصريًا على كل نوع من أنواع الطهارة من العينات أو الصور الفوتوغرافية.

النسيج الطهارى[6] يتكون من طبقة من الخلايا المتلاصقة بإحكام، بسم ك خلية واحدة أو أكثر، مع السطح العلوى عادةً معرض للبيئة أو لمسا حة داخلية فى الجسم. تغطى الطهارة سطح الجسم)الجلد(، تبطن تجا ويف الجسم، تشكل البطانة الخارجية والداخلية للعديد من الأعضاء، و تشكل معظم نسيج الغدد.
تشمل وظائف النسيج الطهارى

- الحماية. تحمى الطهارة الأنسجة الأعمق من الغزو والإصابة. على سبيل المثال، البشرة فى الجلد هى حاجز ضد العدوى، والبطانة الداخلية للمعدة تحمى أنسجتها الأعمق من حمض وأنزيمات المعدة.
- الإفراز. تنتج الطهارة المخاط، العرق، الإنزيمات، الهرمونات، ومعظم الإفرازات الأخرى فى الجسم؛ تتكون الغدد إلى حد كبير من النسيج الطهارى.
- الإفراز. تقوم الأنسجة الطلائية بإخراج الفضلات من الأنسجة، مثل ثانى أكسيد الكربون)CO_2(عبر الطهارة الرئوية والصفراء من طهارة الكبد.
- الامتصاص. تمتص الأنسجة الطلائية المواد الكيميائية من الو سط المجاور؛ على سبيل المثال، يتم امتصاص المغذيات ع بر طهارة الأمعاء الدقيقة.
- الترشيح. يتم ترشيح جميع المواد التى تخرج من الدم بشكل ان تقائى عبر الطهارة التى تبطن الأوعية الدموية؛ ويتم ترشيح جم يع الفضلات البولية عبر طهارة الكلى.
- الإحساس. تحتوى الأنسجة الطلائية على نهايات عصبية تستشعر التحفيزات التى تتراوح من لمسة على الجلد إلى تهيج المعدة.

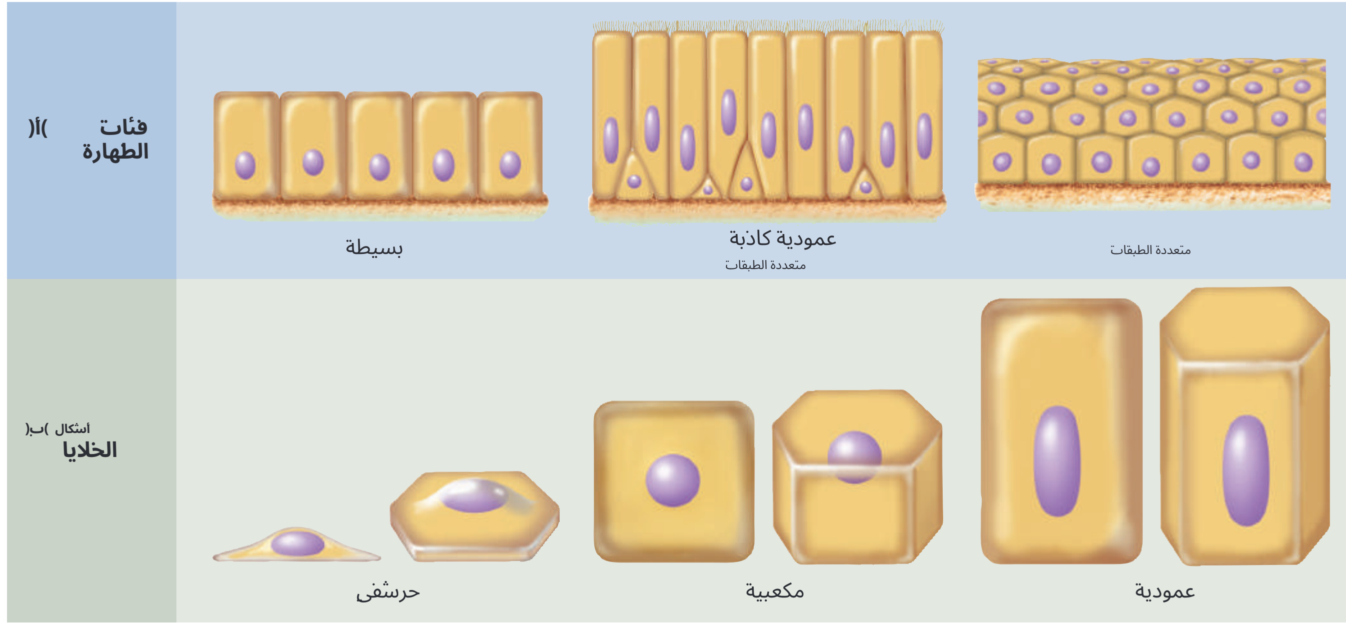
يمكن مقارنة الخلايا والمادة خارج الخلية فى النسيج الطلائى بشكل فضفاض بالطوب والملاط فى الجدار. ومع ذلك، فإن المادة خارج الخلية)"الملاط"(رقيقة جدًا بحيث تكاد تكون غير مرئية بالمجهر الضوئى، وتبدو الخلايا مضغوطة بالقرب من بعضها البعض. الأنسجة الطلائية هى *عديمة الأوعية الدموية*[7])بدون أوعية دموية(— لا يوجد مكان لها بين الخلايا. ومع ذلك، عادةً ما تقع الأنسجة الطلائية على طبقة غنية بالأوعية من النسيج الضام،

تصنف الأنسجة الطلائية إلى فئتين رئيسيتين— *بسيطة ومتعدد ة الطبقات*، مع أربعة أنواع فى كل فئة. فى النسيج الطلائى البسيط، كل خلية مثبتة بالغشاء القاعدى، بينما فى النسيج الطلائى متعدد الط بقات، بعض الخلايا تستقر فوق خلايا أخرى ولا تتصل بالغشاء القاعد ى)الشكل 5.3(.
الجدول 5.2)الذى يحتوى على الأشكال 5.4 إلى 5.7(يلخص الاختلافات الهيكلية والوظيفية بين الأنواع الأربعة من الأنسجة الطلائية البسيطة. فى هذا الجدول والجداول التالية، يصاحب كل صورة رسم موضح لن فس العينة. توضح الرسومات حدود الخلايا والميزات الأخرى ذات ال صلة التى قد يكون من الصعب رؤيتها أو تحديدها فى الصور الفوتوغرا فية أو من خلال المجهر.
تشير كل صورة إلى التكبير التقريبى الذى تم التقاط الصورة الأصلية به.بالطبع يتم تكبير كل صورة أكثر من ذلك عند طباعتها فى الكتاب، و لكن اختيار أقرب تكبير على المجهر يجب أن يمكنك من رؤية مستوى مماثل من التفاصيل)الدقة(.

5.2أ الأنسجة الطلائية البسيطة

بشكل عام، يحتوى النسيج الطلائى البسيط على طبقة واحدة فقط من الخ لايا، على الرغم من أن هذه النقطة مثيرة للجدل إلى حد ما فى نوع العمود ى الكاذب الطبقات (pseudostratified columnar(. تُسمى ثلاثة أنواع من الأنسجة الطلائية البسيطة حسب أشكال خلاياها: الطلائى الحرشفى ا لبسيط[8])خلايا رقيقة متقشرة(، الطلائى المكعب البسيط)خلايا مربعة أو دائرية(، و الطلائى العمودى البسيط)خلايا طويلة وضيقة(. فى النوع الرابع، العمودى الكاذب الطبقات، لا تصل كل الخلايا إلى السطح؛ حيث تغطى ا لخلايا الأقصر الخلايا الأطول. يبدو هذا النسيج الطلائى متعدد الطبقات فى معظم مقاطع الأنسجة، لكن الفحص الدقيق، خاصة باستخدام المجهر الإ لكترونى، يبين أن كل خلية تصل إلى الغشاء القاعدى—مثل الأشجار فى ا لغابة، حيث تنمو بعض الأشجار أطول من غيرها لكن جميعها متجذرة فى التربة أدناه.
غالبًا ما تحتوى الأنسجة الطلائية العمودية البسيطة والعمودية الكاذبة ا لطبقات على خلايا الكأس على شكل كأس النبيذ التى تنتج مواد حماية

[6] *epi* = فوق؛ *theli* = حلمة، أنثى
[7] *a* = بدون؛ *vas* = الأوعية الدموية
[8] *squam* = قشرة



الشكل 5.3 أشكال الخلايا وأنواع الأنسجة الطلائية.)أ(مقاطع أمامية لثلاث فئات من الأنسجة الطلائية. الطهارة العمودية الكاذبة متعددة الطبقات هى نوع خا ص من الأنسجة الطلائية البسيطة التى تعطى مظهرًا زائفًا لوجود طبقات خلوية متعددة.)ب(مناظر أمامية ومائلة لثلاثة أشكال خلوية—حرشفية، مكع بة، وعمودية. لاحظ أن هذه المصطلحات التقليدية تصف المظهر الأمامى، لكن الثلاثة جميعًا متعددة الأضلاع عند النظر إليها من الأعلى.

علم الخلايا المتقشرة. يمكنك بسهولة دراسة الخلايا المتقشرة عن ط ريق كشط لثتك باستخدام عود أسنان، ثم فرد هذه المادة على شريحة ، وصبغها باليود للفحص المجهرى.
يُستخدم إجراء مشابه فى *مسحة باب (Pap smear)*، وهو فحص للخ لايا المتقشرة من عنق الرحم للكشف عن علامات السرطان)انظر الشك ل 28.7(.

الطلائية الحرشفية متعددة الطبقات نوعان—مقرنة وغير مقرنة. ا لطلائية المقرنة)المقرنة(الموجودة فى البشرة مغطاة بطبقة من الخ لايا الميتة المضغوطة. تُسمى هذه الخلايا الخلايا القرنية، وهى مح شوة بالبروتين المتين *الكيراتين* ومغطاة بغليكوليبيد مقاوم للماء. لذ لك، يكون سطح الجلد جافًا نسبيًا؛ فهو يبطئ فقدان الماء من الجسم؛ ويقاوم اختراق الكائنات الممرضة.)الكيراتين هو أيضًا البروتين الذى تصنع منه قرون الحيوانات، ومن هنا جاء اسمه.[9] (اللسان، المرىء، الم هبل، وبعض الأغشية الداخلية الأخرى مغطاة بالنوع غير المقرن الذى يفتقر إلى طبقة الخلايا الميتة السطحية. هذا النوع يوفر سطحًا مقاومًا للاحتكاك، ولكنه أيضًا رطب وزلق. هذه الخصائص مناسبة جيدًا لمقا ومة الإجهاد الناتج عن المصنع والبلع والجماع والولادة.

الطهارة البولية)اليوروتيليوم(هى نوع آخر مثير للاهتمام من الأن سجة الطلائية متعددة الطبقات. لماذا تقتصر على الجهاز البولى؟ الجوا ب يتعلق بحقيقة أن البول عادة ما يكون حمضيًا وفرط تركيزه مقارنة بالسائل داخل الخلايا. كان من الممكن أن يسحب الماء من الخلايا عن طريق التناضح ويقتلها إذا لم يكن هناك ما يحميها.

(text continued after table 5.3)

[9] *kerat* = قرن

الأغشية المخاطية تغطى الأغشية المخاطية. تحتوى هذه الخلايا على نهاية قمية موسعة مليئة بالحويصلات الإفرازية؛ يصبح منتجها مخاطًا عند إفرازه ويمتص الماء. الجزء القاعدى من الخلية هو ساق ضيقة، تشبه ساق كأس النبيذ، تصل إلى الغشاء القاعدى.

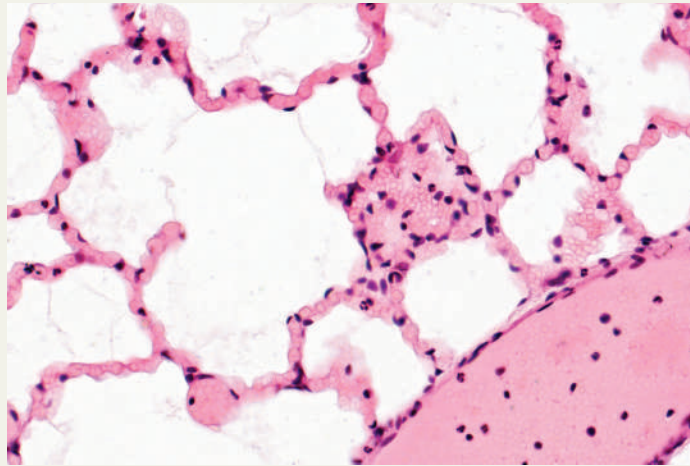
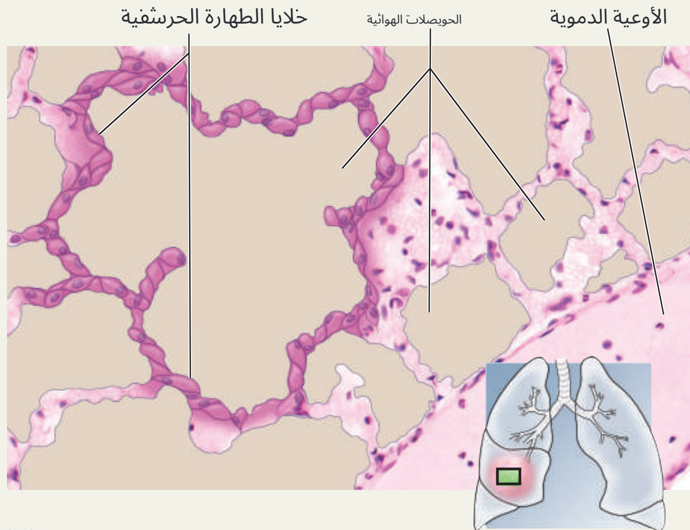
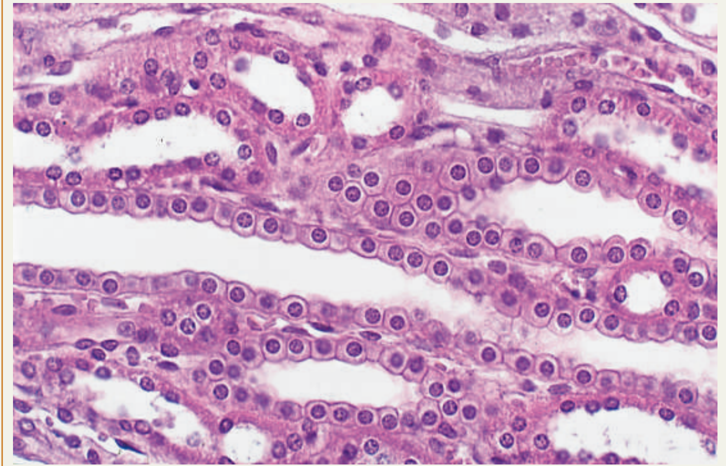
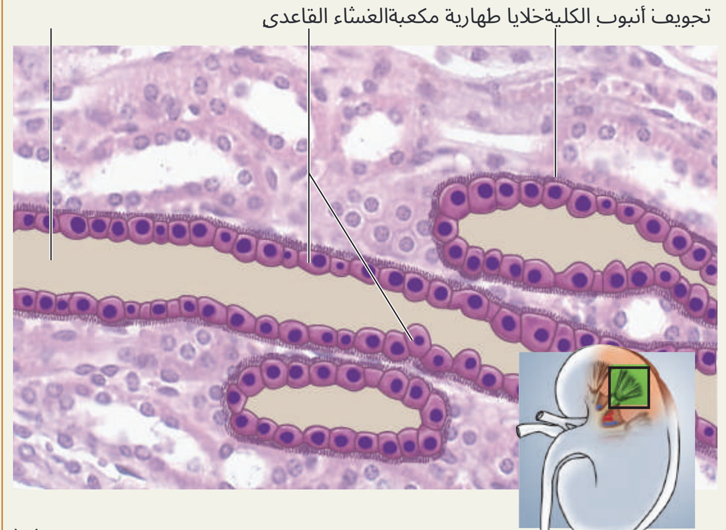
5.2ب الأنسجة الطلائية متعددة الطبقات

الأنسجة الطلائية متعددة الطبقات تتراوح من طبقتين إلى عشرين ط بقة أو أكثر من الخلايا، مع وجود بعض الخلايا التى تستند مباشرة على أخرى ولا تتصل إلا أعمق طبقة بالغشاء القاعدى)الجدول 5.3، الذى يحتوى على الأشكال 5.8 إلى **5.11**(. ثلاثة من الأنسجة الطلائية متعد دة الطبقات تُسمى حسب أشكال خلايا السطح: الطلائية الحرشفية م تعددة الطبقات، الطلائية المكعبة متعددة الطبقات، والطلائية العمود ية متعددة الطبقات. ومع ذلك، قد تكون الخلايا الأعمق ذات شكل م ختلف عن خلايا السطح. النوع الرابع، الطهارة البولية)اليوروتيليوم(، يُسمى كذلك لأنه فريد من نوعه فى الجهاز البولى. غالبًا ما يُطلق عليه اسم قديم، الطهارة الانتقالية، التى نشأت من سوء فهم بأنه يمثل مر حلة انتقالية بين الطلائية الحرشفية متعددة الطبقات والطلائية العمود ية متعددة الطبقات.

الطلائية العمودية متعددة الطبقات نادرة وأهميتها نسبية قليلة —تُرى فقط فى الأماكن التى تلتقى فيها نوعان آخران من الأنسجة ال طلائية، كما فى مناطق محدودة من البلعوم، الحنجرة، القناة الشرجية، والإحليل الذكرى. لن نناقش هذا النوع أكثر من ذلك.

الطلائية الحرشفية متعددة الطبقات هى الأكثر انتشارًا فى الجسم ، وتستحق مناقشة أعمق. خلاياها الأعمق تكون مكعبة إلى عمودية، و تشمل خلايا جذعية نشطة انقساميًا. تدفع خلاياها الابنة نحو السطح و تصبح أكثر تسطحًا)أكثر حرشفية(أثناء هجرتها للأعلى، حتى تموت فى النهاية وتتقشر. يُسمى فقدانها التقشير)التقشر الخلوى( )الشكل 5 .12(; دراسة الخلايا المتقشرة تُعرف باسم

الجدول 5.2 الطهارة البسيطة

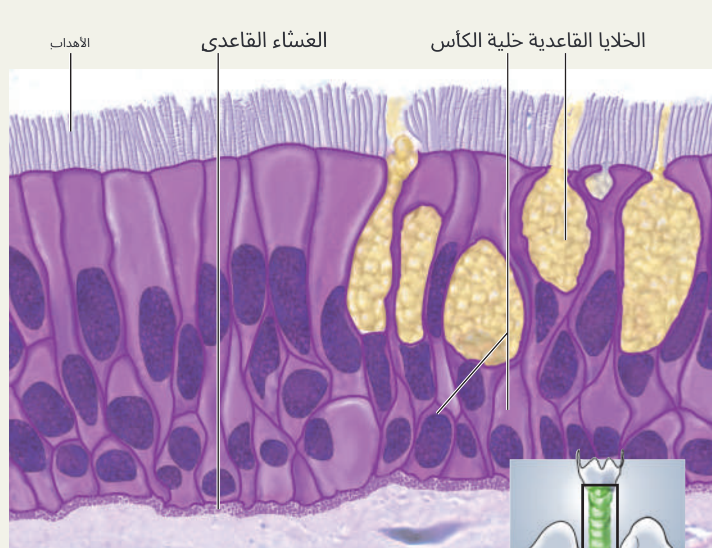
الطهارة الحرشفية البسيطة	الطهارة المكعبة البسيطة
)أ()ب(	)أ()ب(
الشكل ٤.٥ الطهارة الحرشفية البسيطة. الحويصلات الهوائية للرئة APR)أ(صورة ضوئية.)٤٠٠×( )ب(رسم موضح. أ: آل تيلسر/ماكجرو هيل	الشكل ٥.٥ الطهارة المكعبة البسيطة.أنابيب الكلية APR)أ(صورة ضوئية.)٤٠٠×( )ب(رسم موضح. أ: دينيس ستريت/ماكجرو هيل
المظهر المجهرى: طبقة واحدة من الخلايا الرقيقة، على شكل بيض مقلى مع ا نتفاخ حيث يقع النواة؛ النواة مسطحة فى مستوى الخلية، مثل صفار البيض ؛ قد يكون السيتوبلازم رقيقًا جدًا بحيث يصعب رؤيته فى مقاطع الأنسجة؛ فى ا لعرض السطحى، تكون الخلايا ذات حدود زاويّة وتظهر النوى دائرية	المظهر المجهرى: طبقة واحدة من خلايا مربعة أو دائرية؛ فى الغدد، غالبًا ما تكون الخلايا هرمية ومرتبة مثل شرائح البرتقال حول فراغ مركزى؛ نوى كروية وم تمركزة؛ مع حافة فرشاة من الأهداب الدقيقة فى بعض أنابيب الكلى؛ مهدبة فى ا لقصيبات الهوائية للرئة
المواقع التمثيلية: الحويصلات الهوائية)الحويصلات(للرئتين؛ كبسولات الكبى بات فى الكلى؛ بعض أنابيب الكلى؛ البطانة الداخلية)البطانة(للقلب والأوعية الدموية؛ الأغشية المصلية للمعدة والأمعاء وبعض الأحشاء الأخرى؛ الميزوثيلى وم السطحى للجنبة، التامور، الصفاق، والمساريق	المواقع التمثيلية: الكبد، الغدة الدرقية، الغدد الثديية، الغدد اللعابية، وغدد أخرى؛ معطم أنابيب الكلى؛ القصيبات الهوائية
الوظائف: يسمح بالانتشار السريع أو نقل المواد عبر الغشاء؛ يفرز سائل مصلّى مزلق	الوظائف: الامتصاص والإفراز؛ إنتاج طبقة مخاطية واقية؛ حركة المخاط التنفسى

الجدول 5.2 الطهارة البسيطة (مستمرة)

الطهارة العمودية الكاذبة الطبقات



(أ)





(ب)

الشكل 5.7 الطهارة العمودية الكاذبة المهدبة. مخاطية القصبة الهوائية (×400). (أ) صورة ضوئية. (ب) رسم معنون.

APR

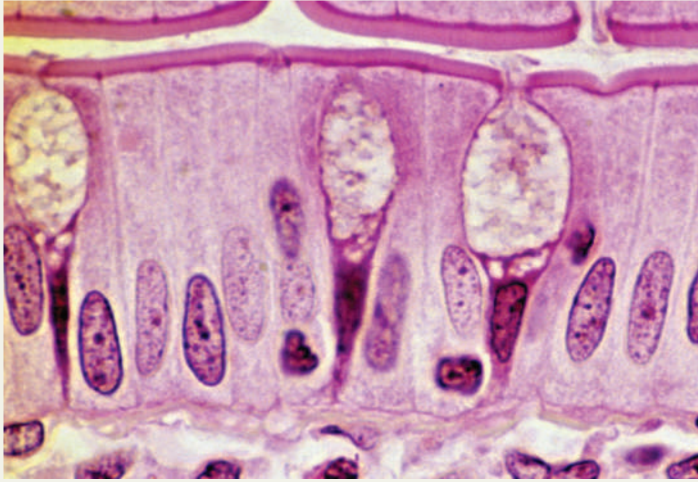
أ: دينيس ستريت/ماكجرو هيل

المظهر المجهري: يبدو متعدد الطبقات؛ بعض الخلايا لا تصل إلى السطح الحر، لكن جميع الخلايا تصل إلى الغشاء القاعدي؛ النوى على عدة مستويات في النصف الأعمق من الطهارة؛ غالبًا مع خلايا الكأس؛ غالبًا مهدبة

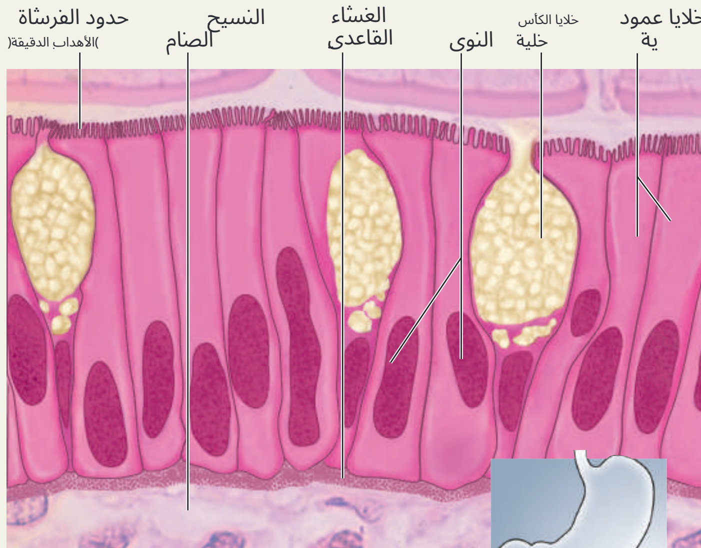
المواقع التمثيلية: الجهاز التنفسي من تجويف الأنف إلى الشعب الهوائية؛ أجزاء من الإحليل الذكري

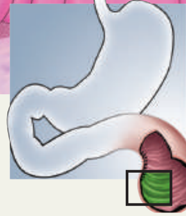
الوظائف: يفرز ويدفع المخاط

الطهارة العمودية البسيطة



(أ)





(ب)

الشكل 5.6 الطهارة العمودية البسيطة. مخاطية الأمعاء الدقيقة (×400). (أ) صورة ضوئية. (ب) رسم معنون.

APR

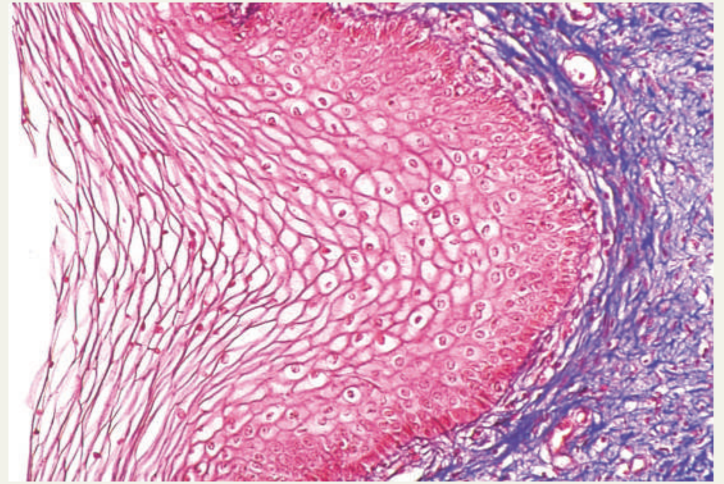
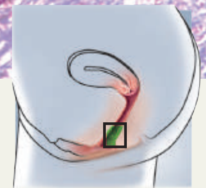
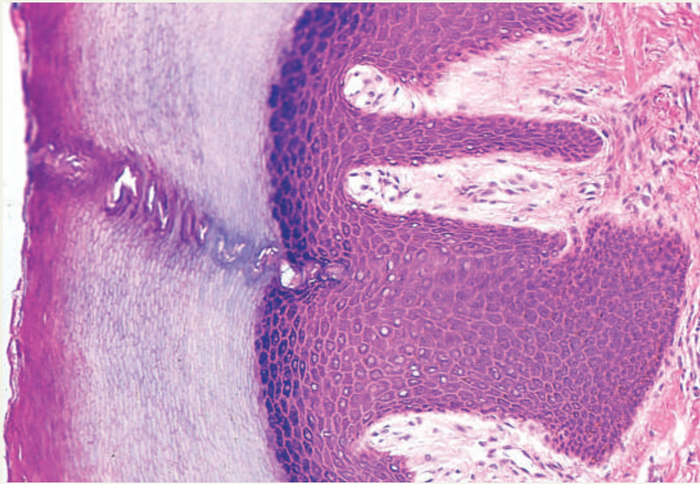
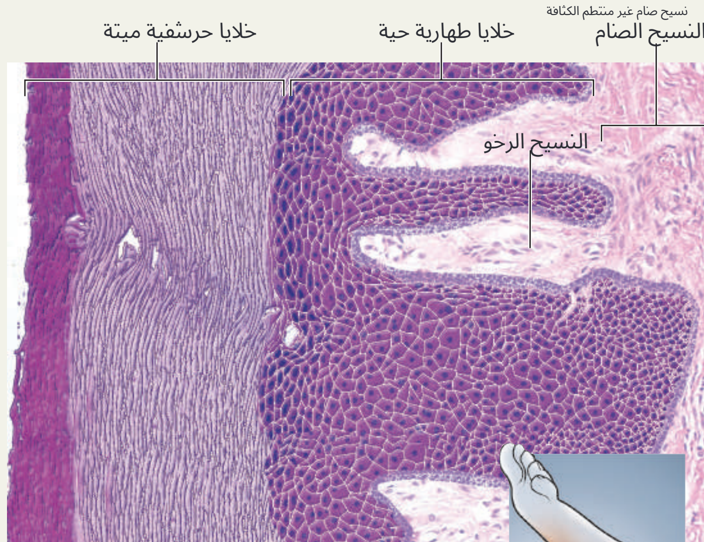
أ: إد ريشكي/مكتبة الصور/ستون/غيتي إيماجز

المظهر المجهري: طبقة واحدة من خلايا طويلة وضيقة؛ نوى بيضاوية أو على شكل سجق، موجهة عمودياً، عادة في النصف القاعدي من الخلية؛ الجزء القمي من الخلية غالباً ما يظهر حويصلات إفرازية مرئية باستخدام TEM؛ غالباً ما يظهر حدود فرشاة من الأهداب الدقيقة؛ مهدب في بعض الأعضاء؛ قد يحتوي على خلايا كأس

المواقع التمثيلية: البطانة الداخلية للمعدة، الأمعاء، المرارة، الرحم، وقنوات الرحم؛ بعض الأنابيب الكلوية

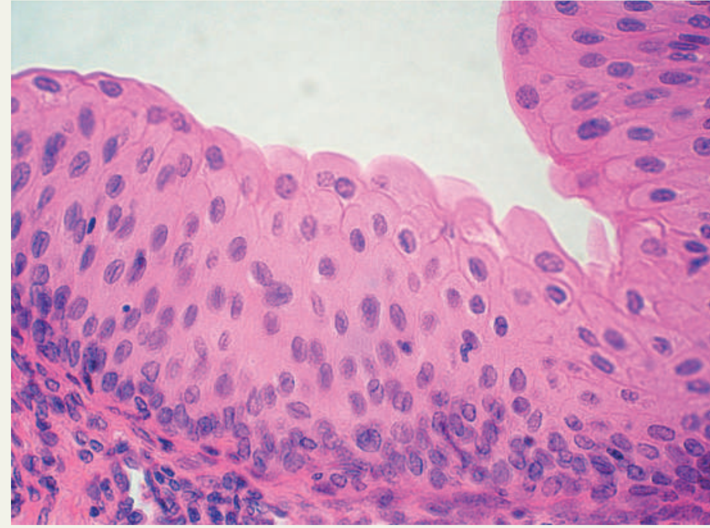
الوظائف: الامتصاص؛ إفراز المخاط ومنتجات أخرى؛ حركة البويضة والجنين في قناة الرحم

الجدول 5.3 الظهارات متعددة الطبقات

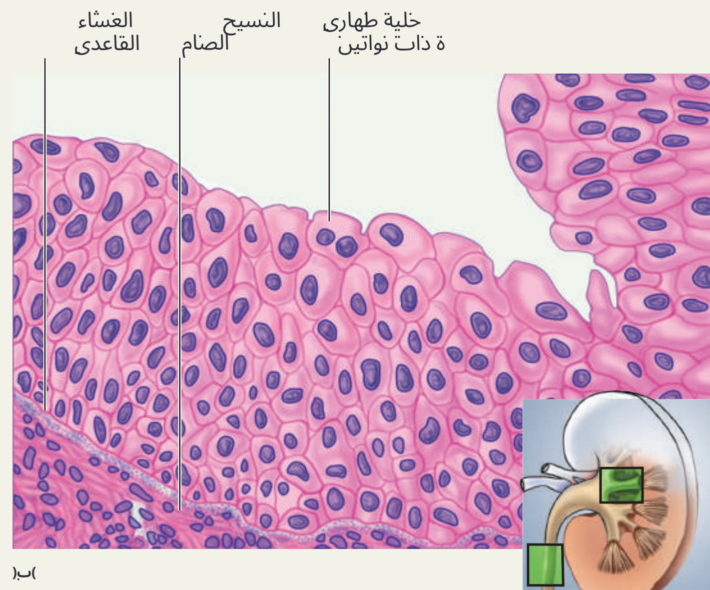
الطهارة الحرشفية متعددة الطبقات—غير مقرنة	الطهارة الحرشفية متعددة الطبقات—مقرنة
 (أ)   (ب)	 (أ)   (ب)
الشكل 5.9 الطهارة الحرشفية متعددة الطبقات غير المتقرنة. الغشاء المخاطي للمهبل (×400). (أ) صورة ضوئية. (ب) رسم موضح APR. أ: إد ريشكى/ستون/غيتى إيماجز	الشكل 5.8 الطهارة الحرشفية متعددة الطبقات المتقرنة. البشرة فى باطن القدم (×400). (أ) صورة ضوئية. APR (ب) رسم موضح. أ: إد ريشكى
المظهر المجهرى: نفس مظهر الطهارة المتقرنة ولكن بدون طبقة السطح من الخلايا الميتة المواقع التمثيلية: اللسان، الغشاء المخاطى الفموى، المرىء، القناة الشرجية، المهبل الوظائف: مقاومة الاحتكاك واختراق الكائنات الممرضة	المظهر المجهرى: طبقات متعددة من الخلايا مع تحول الخلايا تدريجياً إلى شكل مسطح ومتقشر نحو السطح؛ السطح مغطى بطبقة من الخلايا الميتة المدمجة بدون نوى؛ الخلايا القاعدية قد تكون مكعبة إلى عمودية المواقع التمثيلية: البشرة؛ راحتا اليدين وأخمصا القدمين تكونان متقرنتين بشكل خاص الوظائف: مقاومة الاحتكاك واختراق الكائنات الممرضة؛ تأخير فقدان الماء عبر الجلد

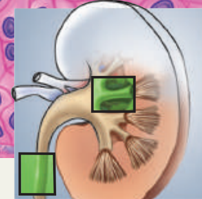
الجدول 5.3	الطهارة الطبقية)تابع(

الطهارة البولية



)أ(





)ب(

الشكل 5.11 الطهارة البولية. الكلية)×400(.)أ(صورة ضوئية.)ب(رسم موضح. APR

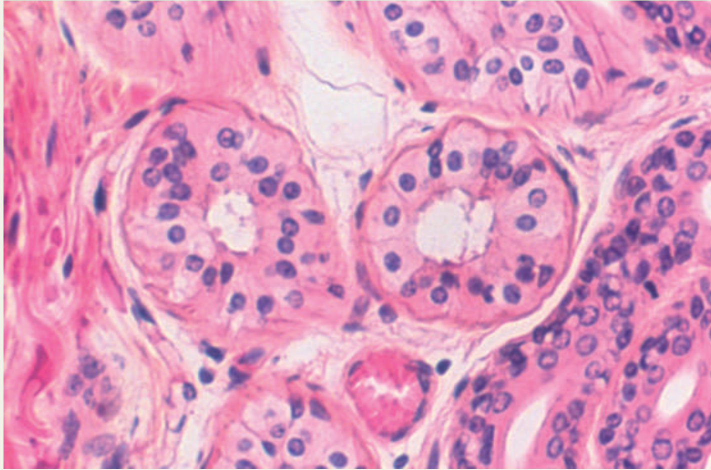
أ: جونى ر. هاوز/ماكجرو هيل

المظهر المجهرى: يشبه إلى حد ما الطهارة الحرشفية متعددة الطبقات، لكن الخلايا السطحية مستديرة وليست مسطحة، وغالبًا ما تنتفخ على السطح؛ عادة ما تكون سماكة الطبقة خمس أو ست خلايا عند الاسترخاء وطبقتين أو ثلاث خلايا عند التمدد؛ قد تكون الخلايا أكثر تسطيحًا وأرق عندما تتمدد الطهارة البولية)كما فى المثانة المنتفخة(؛ بعض الخلايا تحتوى على نواتين

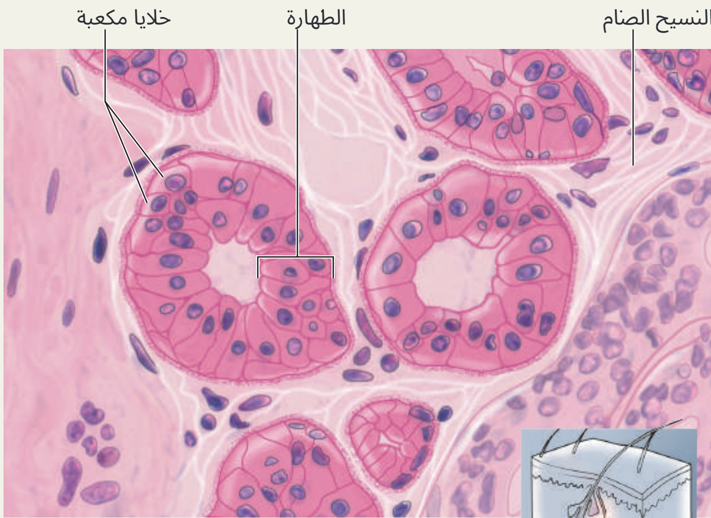
المواقع التمثيلية: الجهاز البولى—جزء من الكلية، الحالب، المثانة، جزء من الإحليل

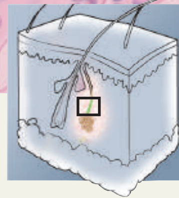
الوظائف: تتمدد للسماح بملء الجهاز البولى؛ تحمى الأنسجة الأساسية من الضرر الأسموزى الناتج عن البول

الطهارة المكعبة متعددة الطبقات



)أ(





)ب(

الشكل 5.10 الطهارة المكعبة متعددة الطبقات. قناة غدة عرقية)×400(.)أ(صورة ضوئية.)ب(رسم موضح. APR

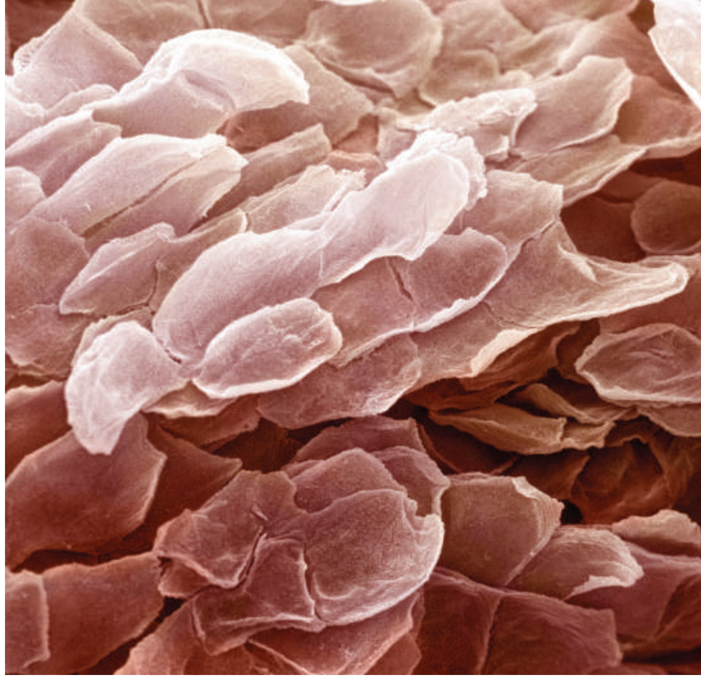
أ: ليستر ف. بيرغمان/كوربيس إن إكس/غيتى إيماجز

المظهر المجهرى: طبقتان أو أكثر من الخلايا؛ الخلايا السطحية مربعة أو دائرية

المواقع التمثيلية: قنوات غدد العرق؛ الحويصلات المنتجة للبويضات)البصيلات(فى المبايض؛ قنوات إنتاج الحيوانات المنوية)الأنابيب المنوية(فى الخصية

الوظائف: يساهم فى إفراز العرق؛ يفرز هرمونات المبيض؛ ينتج الحيوانات المنوية

الخلايا السطحية المقوسة للطهارة البولية، مع ذلك، لها خاصية وقائية فريدة. تُسمى خلايا المطلة. على السطح العلوى لخلية المطلة، تكون الطبقة الخارجية من الفسفوليبيد فى غشاء البلازما أكثر سمكًا من الم عتاد وتحتوى على بقع كثيفة تُسمى الطوافات الدهنية مع بروتينات م دمجة تُسمى *اليوروبلاكينات*. اليوروبلاكينات غير منفذة للبول وتحم ى الطهارة البولية، بما فى ذلك السيتوبلازم الخاص بخلية المطلة نف سها. الطوافات الدهنية متصلة ببعضها البعض بواسطة مفاصل من غشاء البلازما العادى. عندما تكون المثانة فارغة ومسترخية، تطوى هذ ه اللويحات عند المفاصل)مثل طى جهاز كمبيوتر محمول(وتسقط إ لى داخل الخلية للتخزين، وتنتفخ الخلية إلى الأعلى كما هو موضح فى الشكل 5.11. مع امتلاء المثانة بالبول، تفتح المفاصل)مثل فتح الكم بيوتر(، وتنتشر اللويحات على السطح لحماية الخلية، وتصبح خلايا الم طلة أرق وأكثر تسطيحًا. ليس من المستغرب أن يكون هذا النوع من ا لطهارة متطورًا بشكل أفضل فى المثانة، حيث تتعرض لاتصال طويل الأمد مع البول المخزن.



الشكل 5.12 تقشر الخلايا الحرشفية من مخاطية المهبل.



بجانب اللثة والمهبل، اذكر طهارة أخرى فى الجسم قد تبدو هكذا تحت المجهر الإلكترونى الماسح.

ديفيد م. فيليبس / مصدر العلوم

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

5. تمييز بين الطهارة البسيطة والمتعددة الطبقات، وشرح سبب ا نتماء الطهارة العمودية الكاذبة متعددة الطبقات إلى الفئة الأولى ع لى الرغم من مظهرها السطحى.
6. شرح كيفية التمييز بين الطهارة الحرشفية متعددة الطبقات والطهارة البولية.
7. ما الوظيفة المشتركة بين الطهارة الحرشفية متعددة الطبقات الم تقرنة وغير المتقرنة؟ ما الفرق الهيكلى بين هذين النوعين؟ كي ف يرتبط هذا الفرق الهيكلى بالفرق الوظيفى بينهما؟
8. كيف تختلف طهارة المرىء عن طهارة المعدة؟ كيف يرتبط هذا بوظائفهما respective؟

نظرة أعمق 5.1

التطبيق السريرى

خزعة

الخزعة[10] تعنى إزالة وفحص عينة من الأنسجة الحية تحت المجهر. أحد أهداف الخز عة هو تشخيص الأمراض التى لا يمكن تحديدها إلا من خلال المظهر المجهرى للخ لايا أو الأنسجة — على سبيل المثال، ورم خبيث مثل سرطان القولون، أو عدوى م ثل السل، أو مرض التهابى مثل الذئبة. قد يشمل التشخيص تحديد المرحلة للسر طان للتعبير عن مدى تقدمه.)انظر نظرة أعمق 28.1، مسحات عنق الرحم وسرطا ن عنق الرحم.(هدف آخر هو تخطيط العلاج. قد يعتمد الدواء المناسب للعلاج الك يميائى للسرطان، على سبيل المثال، على نوع السرطان الذى تكشفه الخزعة، وفى حالة سرطان عنق الرحم أو الثدى، يعتمد على مرحلة السرطان.

الغرض الثالث هو التوجيه الجراحى. على سبيل المثال، قد يتم فحص عينة من مر يض يخضع لاستئصال الورم)lumpectomy(بسبب سرطان الثدى للتحقق من وجود هوامش واضحة حتى يتمكن الجراح من معرفة ما إذا تم إزالة كل الأنسجة ال خبيثة أو إذا كان من الضرورى إجراء قطع أوسع.

استئصال وفحص كتلة مشبوهة كاملة، مثل كتلة فى الثدى أو عقدة لمفاوية، يُسمى خزعة استئصالية)excisional biopsy(. أما الخز عة الجراحية)incisional biopsy(فهى إزالة جزء فقط من الكتلة، مثل ورم الميلانوما الجلدى المشتبه به، للفحص التشخيصى.

الخزعة بالإبرة)needle biopsy(تُجرى للحصول على عينة من الخلايا عندما لا ي كون من الضرورى الحفاظ على البنية الدقيقة للنسيج، مثل عينة من نخاع العظم لتشخيص اللوكيميا. سحب مثل هذه العينة باستخدام إبرة يُسمى خزعة الشفط بالإبرة)needle aspiration biopsy(.

خزعة الإبرة الأساسية)core needle biopsy(تستخدم إبرة ذات فتحة واسعة وأ حيانًا أداة ذات فكوك تُدخل عبر الإبرة لأخذ "لقمة" من النسيج المشبوه أو إزالة ك تلة كاملة مثل بوليب القولون. فى بعض الإجراءات المسماة خزعة الإبرة الموجهة بالأشعة المقطعية)CT-guided needle biopsy(، يتم توجيه وضع الإبرة بدقة م ن خلال مراقبتها على شاشة الأشعة المقطعية.

فى بعض الحالات، يتم فحص عينة الخزعة من قبل طبيب أمراض داخل الم ستشفى بينما لا يزال المريض تحت التخدير وينتظر الجراح تقرير المختبر ليعرف كيفية المتابعة. فى الحالات الخارجية، قد تُرسل عينة مثل العقدة اللمفاوية إلى م ختبر تشخيص طبى فى مكان آخر، والذى يرسل النتيجة إلى الطبيب.

[10] *bio* = حى؛ *opsy* = مشاهدة

النسيج الصام 5.3

الأهداف التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف الخصائص التي تشترك فيها معظم الأنسجة الصامة؛

ب. ناقش أنواع الخلايا الموجودة في النسيج الصام؛

ج. اشرح ما هو مصفوفة النسيج الصام و وصف مكوناته؛

د. سمِّ وصنف 10 أنواع من الأنسجة الصامة، وصف مكوناتها الخلوية والمصفوفة، وشرح ما يميزها عن بعضها البعض؛ و

هـ. التعرف بصريًا على كل نوع من أنواع الأنسجة الصامة من عينات أو صور فوتوغرافية.

5.3أ نظرة عامة

الأنسجة الصامة هي الأكثر وفرةً وانتشارًا وتنوعًا نسيجيًا بين الأنسجة الأولية. تشمل الأنسجة الليفية، والأنسجة الدهنية، والغضاريف، والعظام، والدم. قد يبدو أن هذه الأنسجة المتنوعة لا تشترك في الكثير، لكن كقاعدة عامة، تحتل خلاياها مساحة أقل من المصفوفة خارج الخلية. عادةً لا تكون خلاياها على اتصال مباشر ببعضها البعض، بل تفصل بينها مساحات من المصفوفة. تختلف الأنسجة الصامة بشكل كبير في ترويتها الدموية، من شبكات غنية من الأوعية الدموية في الأنسجة الصامة الرخوة إلى عدم وجود أوعية دموية في الغضاريف.

تشمل وظائف النسيج الصام

- الربط بين الأعضاء. تربط الأوتار العضلات بالعظام، وترابط الأربطة بين عظمة وأخرى، وتحفظ الدهون الكلى والعيون في مكانها، وترابط الأنسجة الليفية الجلد بالعضلات الكامنة تحته.
- الدعم. تدعم العظام الجسم؛ وتدعم الغضاريف الأذنين والأنف والحنجرة والقصبة الهوائية؛ وتشكل الأنسجة الليفية الإطار الهيكلي لأعضاء مثل الطحال.
- الحماية الفيزيائية. تحمي الجمجمة والأضلاع وعظم القص الأعضاء الحساسة مثل الدماغ والرئتين والقلب؛ تحمي الوسائد الدهنية الكلى والعيون.
- الحماية المناعية. تهاجم خلايا النسيج الصام الغزاة الأجانب، و يشكل النسيج الصام الرخو "ساحة معركة" تحت الجلد والأغشية المخاطية حيث يمكن تعبئة خلايا المناعة بسرعة ضد عوامل المرض.
- الحركة. توفر العظام نظام الرافعة لحركة الجسم، وتشارك الغضاريف في حركة الأحبال الصوتية، وتسهّل الغضاريف على أسطح العظام حركة المفاصل.
- التخزين. الدهون هي المخزون الرئيسي للطاقة في الجسم؛ والعظام هي مستودع للكالسيوم والفوسفور يمكن الاستعانة به عند الحاجة.
- إنتاج الحرارة. يولد أيض الدهون البنية الحرارة عند الرضع والأطفال.
- النقل. ينقل الدم الغازات والمغذيات والنفايات والهرمونات وخلايا الدم.

الميزنكيم الموضح سابقًا في هذا الفصل هو شكل من أشكال النسيج الصام الجنيني. وتقع الأنسجة الصامة الناضجة ضمن أربع فئات رئيسية: النسيج الصام الليفي، النسيج الدهني، الأنسجة الصامة الداعمة)الغضروف والعظم(، والنسيج الصام السائل)الدم(.

5.3ب النسيج الصام الليفي

النسيج الصام الليفي هو النوع الأكثر تنوعًا. تحتوي تقريبًا جميع الأنسجة الصامة على ألياف، لكن الأنسجة التي نعتبرها هنا مصنفة معًا لأن الألياف فيها بارزة جدًا.
الألياف هي، بالطبع، مجرد مكون واحد من النسيج، الذي يشمل أيضًا الخلايا والمادة الأساسية. قبل فحص أنواع محددة من النسيج الصام الليفي، دعونا نفحص هذه المكونات.

مكونات النسيج الصام الليفي

الخلايا تشمل خلايا النسيج الصام الليفي الأنواع التالية:

- الخلايا الليفية.[11] هذه خلايا كبيرة، مغزلية الشكل أو نجمية، غالبًا ما تظهر فروعًا رفيعة ورقيقة. تقوم بإنتاج الألياف والمادة الأساسية التي تشكل مصفوفة النسيج.
- البلعميات.[12] هذه خلايا كبيرة بلعمة تتجول في الأنسجة الصامة، حيث تبتلع وتدمر البكتيريا والجسيمات الغريبة الأخرى والخلايا الميتة أو المحتضرة في أجسامنا. كما تنشط الجهاز المناعي عندما تكتشف مواد غريبة تسمى *الأجسام المضادة (antigens)*. تنشأ هذه الخلايا من خلايا الدم البيضاء المسماة *الوحيدات)monocytes(* أو من نفس الخلايا الجذعية التي تنشأ منها الوحيدات.
- الكريات البيضاء،[13] أو خلايا الدم البيضاء)WBCs(. تنتقل خلايا الدم البيضاء لفترة قصيرة في مجرى الدم، ثم تزحف خارج جدران الأوعية الدموية الصغيرة وتقضي معظم وقتها في الأنسجة الصامة. النوعان الأكثر شيوعًا هما العدلات)neutrophils(، التي تتجول مهاجمة البكتيريا، واللمفاويات)lymphocytes(، التي تتفاعل ضد البكتيريا والسموم والعوامل الغريبة الأخرى. غالبًا ما تشكل اللمفاويات بقعًا كثيفة في الأغشية المخاطية.
- خلايا البلازما. تتحول بعض اللمفاويات إلى خلايا بلازما عند اكتشافها لعوامل غريبة. تقوم خلايا البلازما بعد ذلك بتخليق بروتينات مقاومة للأمراض تُسمى *الأجسام المضادة (antibodies)* .
نادراً ما تُرى خلايا البلازما إلا في العقد اللمفاوية، وجدار الأمعاء، والأنسجة الملتهبة.
- خلايا البدينة. توجد هذه الخلايا خاصة بجانب الأوعية الدموية، وتفرز مادة كيميائية تُسمى *الهيبارين (heparin)* التي تمنع تجلط الدم، و مادة تُسمى *الهيستامين (histamine)* التي تزيد من تدفق الدم عن طريق توسيع الأوعية الدموية.
- الخلايا الدهنية)AD-ih-po-sites(، أو خلايا الدهون. تظهر هذه الخلايا في مجموعات صغيرة في بعض الأنسجة الصامة الليفية. عندما تهيمن على منطقة معينة، يُطلق على النسيج اسم *النسيج الدهني)adipose tissue(*.

[11] *fibro* = ليف؛ *blast* = منتج
[12] *macro* = كبير؛ *phage* = آكل
[13] *leuko* = أبيض؛ *cyte* = خلية

مثل هذه الأعضاء مثل الطحال والعقد اللمفاوية وتشكل جزءًا من الأغشية القاعدية التى تقع تحت الطهارة.

- الألياف المرنة. هذه أرق من الألياف الكولاجينية، وتتفرع وتتحد مع بعضها البعض على طول مسارها. تتكون من بروتين يسمى ا لإيلاستين مغطى ببروتين سكرى)فيبريلين(. تسمح البنية ال ملفوفة للإيلاستين بالتمدد والارتداد مثل شريط مطاطى. تف سر الألياف المرنة قدرة الجلد والرئتين والشرايين على العودة إلى شكلها الأصلى بعد التمدد.)المرونة ليست القدرة على التمد د، بل الميل إلى الارتداد عند تحرير التوتر.(

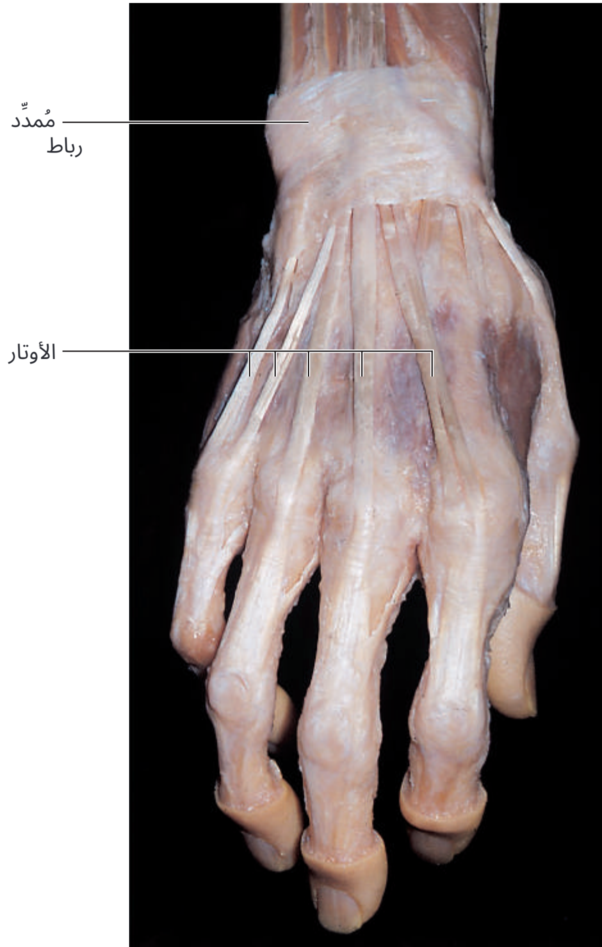
المادة الأرضية بين الخلايا والألياف فى بعض مقاطع الأنسجة، يبدو أ ن هناك فراغًا كبيرًا. فى الأنسجة الحية، يشغل هذا الفراغ المادة الأر ضية الخالية من الملامح. عادةً ما تكون المادة الأرضية ذات قوام هلا مى إلى مطاطى نتيجة لثلاث فئات من الجزيئات الكبيرة: الجليكوزأمى نوجليكانات، البروتيوغليكانات، والبروتينات السكرية اللاصقة. تمتص هذه المادة القوى الضاغطة، ومثل التعبئة من الستايروفوم فى علبة ا لشحن، تحمى الخلايا الأكثر حساسية من الإصابات الميكانيكية.

الجليكوزأمينوجليكان)GAG( )جليكوز-أمينو-جليكان(هو بوليسكا ريد طويل يتكون من ثنائيات سكر غير عادية تسمى سكريات أمينية وحمض اليورونيك. تحمل GAGs شحنة سالبة وبالتالى تميل إلى جذ ب أيونات الصوديوم والبوتاسيوم، مما يجعلها تمتص وتحتفظ بالماء. لذلك، تلعب GAGs دورًا مهمًا فى تنظيم توازن الماء والإلكتروليتات فى الأنسجة. أكثر GAGs شيوعًا هو كبريتات الكوندرويتين)كون-درو-إ ى-تين(. وهو وفير فى الأوعية الدموية والعظام ويمنح الغضروف صلا بته النسبية.
الجليكوزامينوجليكانات الأخرى التى ستقرأ عنها فى أماكن أخرى من هذا الكتاب هى *الهيبارين*)مضاد للتخثر(و *حمض الهيالورونيك* .(HY-uh-loo-RON-ic)
الأخير هو جزىء ضخم يصل طوله إلى 20 ميكرومتر، بحجم معظم الخلايا. إنها مادة لزجة وزلقة تشكل مادة تزليق فى المفاصل
وتشكل جزءًا كبيرًا من الجسم الزجاجى الهلامى *vitreous body* فى كرة العين.
البروتيوغليكان هو جزىء ضخم آخر. يتخذ شكلاً يشبه إلى حد ما فرشاة الزجاجة، مع نواة مركزية من البروتين ونموات شبيهة بالشعيرا ت تتكون من الجليكوزأمينوجليكانات)GAGs(. قد يكون البروتيوغلى كان بأكمله مرتبطًا بحمض الهيالورونيك، مكونًا بذلك مركبًا جزيئيًا ض خمًا. تشكل البروتيوغليكانات معلقات كثيفة تشبه تلك الموجودة فى الصلصات، والجيلاتين، والغراء. هذه الهلامية تبطئ انتشار الكائنات ا لممرضة عبر الأنسجة. بعض البروتيوغليكانات تكون مدمجة فى أغش ية البلازما للخلايا، مرتبطة بالهيكل الخلوى من الداخل وبجزيئات خارج الخلية فى المصفوفة. تخلق رابطة هيكلية قوية بين الخلايا والجزيئات الكبيرة خارج الخلية وتساعد فى تماسك الأنسجة معًا.

الجليكوبروتينات اللاصقة هى مركبات بروتينية-كربوهيدراتية ترتبط ببروتينات غشاء البلازما مع الكولاجين خارج الخلية والبروتيوغليكانات. تقوم بربط مكونات النسيج معًا وتحدد المسارات التى توجه الخلايا الجنينية المهاجرة إلى وجهاتها فى النسيج.

أنواع النسيج الضام الليفى

ينقسم النسيج الضام الليفى إلى فئتين رئيسيتين حسب الوفرة النس بية للألياف: *النسيج الضام الرخو* و *النسيج الضام الكثيف*. فى النسى ج الضام الرخو، يشغل جزء كبير من الفراغ المادة الأساسية، التى تذو ب من النسيج أثناء التثبيت النسيجى وتترك فراغًا فى مقاطع النسيج المحضرة. الأنسجة الضامة الرخوة التى سنناقشها



الشكل 5.13 الأوتار والأربطة. تتكون أوتار اليد وحزام الأربطة)الشريط المثنى للمعصم من الكولاجين، الذى له مطهر أبيض لامع.(

ريبيكا غراى / ماكجرو هيل

الألياف توجد ثلاثة أنواع من الألياف البروتينية فى الأنسجة الضامة ال ليفية:

- الألياف الكولاجينية)كول-لادح-إه-نوس(. هذه الألياف المصنوع ة من الكولاجين، قوية ومرنة وتقاوم التمدد. الكولاجين هو أكثر البروتينات وفرة فى الجسم، حيث يشكل حوالى ٢٥٪ من الإجمالى. وهو أساس منتجات حيوانية م ثل الجيلاتين والجلد والغراء.[14] فى الأنسجة الطازجة، تظهر الأ لياف الكولاجينية بمطهر أبيض لامع، كما هو واضح فى الأوتار و بعض قطع اللحم)الشكل ٥.١٣(; لذلك غالبًا ما تُسمى *الألياف البيضاء*. فى مقاطع الأنسجة، يشكل الكولاجين حزمًا خشنة و متموجة، وغالبًا ما يصبغ باللون الوردى أو الأزرق أو الأخضر باس تخدام أكثر الصبغات النسيجية شيوعًا. الأوتار والأربطة والأدمة فى الجلد تتكون أساسًا من الكولاجين. وبشكل أقل وضوحًا، ينتشر الكولاجين فى مصفوفة الغضروف والعظام والعضلات.

- الألياف الشبكية [15]. هذه ألياف كولاجينية رقيقة مغطاة بالبروتينات السكرية. تشكل إطارًا إسفنجيًا لأعضاء مثل الطحال والعقد اللمفاوية وتشكل جزءًا من الأغشية القاعدية التى تقع تحت الطهارة.

[14] كولا = غراء؛ جين = إنتاج
[15] ريت = شبكة؛ *إيكول* = صغير

النسيج الصام غير المنتظم الكثيف)الشكل 5.17(يحتوى أيضًا ع لى حزم سميكة من الكولاجين ومساحة قليلة نسبيًا للخلايا والمادة الأ ساسية، لكن حزم الكولاجين تمتد فى اتجاهات تبدو عشوائية. هذا ال ترتيب يمكّن النسيج من مقاومة الضغوط غير المتوقعة. يشكل هذا ا لنسيج معظم الأدمة، حيث يربط الجلد بالعضلات والأنسجة الصامة تحتها. كما يشكل كبسولة واقية حول الأعضاء مثل الكلى، الخصيتين، والطحال، وغلافًا ليفيًا قويًا حول العظام، الأعصاب، ومعظم الغضارى ف.

فى بعض الأحيان يكون من الصعب التمييز بين النسيج الهالوى والن سيج الصام غير المنتظم الكثيف. فى الأدمة، على سبيل المثال، تتواجد ه ذه الأنسجة جنبًا إلى جنب، ولا يكون الانتقال من أحدهما إلى الآخر واضحًا على الإطلاق)انظر الشكل 5.8(. وجود كمية كبيرة نسبيًا من الفراغات الوا ضحة يشير إلى النسيج الهالوى، بينما تشير حزم الكولاجين السميكة وقلة ا لفراغات الواضحة إلى النسيج الصام غير المنتظم الكثيف.
غالبًا ما يشكل النسيج الصام الليفى حشوة، أو الفراغ بين الأنسج ة، حول وبين هياكل أخرى مثل الأوعية الدموية وقنوات الغدد وداخل جدران بعض الأعضاء. فى بعض الأماكن، يشبه هذا الفراغ بين الأنسج ة خلية نحل من الفراغات المملوءة بالسائل المدعومة بحزم سميكة م ن الكولاجين. هذه الفراغات لا تُرى فى الشرائح المحضرة، حيث تكون الفراغات فارغة ومنهارة، ويكون الكولاجين مضغوطًا بكثافة كما فى ا لشكل 5.17؛ وقد تم اكتشافها مؤخرًا فى المرضى الجراحيين بواسطة تقنية تصوير مجهرية جديدة. توجد هذه الفراغات بشكل خاص فى الم ناطق التى تتعرض للضغط المتكرر، مثل الأدمة فى الجلد، وقناة الص فراء، وجدران الجهاز الهضمى والمثانة البولية. تصب هذه الفراغات فى العقد اللمفاوية وقد تكون مهمة كمسار لانتشار السرطان.



نظرة أعمق 5.2

التطبيق السريرى

متلازمة مارفان—مرض فى النسيج الصام

متلازمة مارفان[17] هى عيب وراثى فى الألياف المرنة، عادةً ما ينتج عن طفرة فى ح ين الفيبريلين. تشمل العلامات السريرية لمتلازمة مارفان المفاصل فائقة المرونة، الفتوق فى منطقة الفخذ، ومشاكل بصرية ناتجة عن طول غير طبيعى للعينين و تشوه العدسات. عادةً ما يظهر الأشخاص المصابون بمتلازمة مارفان قامة طويلة بشكل غير عادى، أطراف طويلة، أصابع رفيعة تشبه العنكبوت، انحناء غير طبيعى فى العمود الفقرى، وصدر بارز يشبه صدر الحمام. المشاكل الأكثر خطورة تشمل ضعف صمامات القلب وجدران الشرايين. الشريان الأورطى، حيث يكون ضغط ا لدم أعلى ما يمكن، قد يتوسع بشكل هائل بالقرب من القلب وقد يتمزق.

توجد متلازمة مارفان فى حوالى حالة واحدة من كل 20,000 ولادة حية. حوالى 80 % من الحالات وراثية، لكن 1 من كل 5 حالات تنتج عن طفرات جديدة وعفوية ق بل الولادة فى الفرد المصاب. لدى الآباء الذين يعانى أحد الشريكين منهم من متلاز مة مارفان والآخر لا يعانى، فرصة 50% لنقل المرض إلى أى من أبنائهم. مع التشخ يص المبكر والتقدمات الحديثة فى العلاج، أصبح لدى الأشخاص المصابين بمتلاز مة مارفان متوسط عمر متوقع حوالى 70 عامًا، قريب من متوسط السكان العام. قامة أبراهام لنكولن الطويلة ونحافة أصابعه دفعت بعض الخبراء إلى الاشتباه فى إ صابته بمتلازمة مارفان، لكن الأدلة غير حاسمة. توفى بعض الرياضيين المشهورى ن فى سن مبكرة بسبب متلازمة مارفان، بما فى ذلك بطلة الكرة الطائرة الأولمبية فلو هايمان)1954–1986(، التى توفيت عن عمر 31 عامًا بسبب تمزق الشريان ا لأورطى أثناء مباراة فى اليابان.

خوى و *نسيج شبكى*)الجدول 5.4(. فى النسيج الصام الكثيف، تحتل الأليا ف مساحة أكبر من الخلايا والمادة الأساسية، وتظهر مصغوطة بشكل وثيق فى مقاطع النسيج. سنناقش نوعين: *النسيج الصام الكثيف المنتظم* و *النس يج الصام الكثيف غير المنتظم*)الجدول 5.5(.

النسيج الرخوى [16]أير-إى-أوه-لور(يظهر أليافًا مرتبة بشكل فضفا ض، وأوعية دموية وفيرة، والكثير من الفراغات التى تبدو فارغة. يحتوى على جميع أنواع الخلايا الستة المذكورة سابقًا. تمتد أليافه فى ا تجاهات تبدو عشوائية وغالبًا ما تكون كولاجينية، لكن هناك أيضًا أليا ف مرنة وشبكية. النسيج الرخوى متغير للغاية فى مظهره. فى العديد من الأغشية المصلية، يبدو كما فى الشكل 5.14، لكن فى الجلد والأغ شية المخاطية، يكون أكثر تماسكًا)انظر الشكل 5.8(وأحيانًا يصعب تمييزه عن النسيج الصام الكثيف غير المنتظم. يُعطى بعض النصائح حول كيفية التمييز بينهما بعد مناقشة النسيج الصام الكثيف غير الم نتظم.
يوجد النسيج الرخوى فى مقاطع نسيجية من كل جزء تقريبًا من ا لجسم. يحيط بالأوعية الدموية والأعصاب ويتخللها حتى فى الفراغات الصغيرة للعضلات، والأوتار، والدماغ، وأنسجة أخرى. يستند تقريبًا كل طهارة على طبقة من النسيج الرخوى، الذى توفر أوعيته الدموية للطها رة التغذية، وإزالة الفضلات، وإمدادًا جاهزًا من الكريات البيضاء المقاو مة للعدوى عند الحاجة. بسبب وفرة الفراغات المفتوحة المملوءة بال سوائل، يمكن للكريات البيضاء التحرك بحرية فى النسيج الرخوى والع ثور بسهولة على مسببات الأمراض وتدميرها.

النسيج الشبكى)الشكل 5.15(هو شبكة من الألياف الشبكية وا لخلايا الليفية. يشكل الإطار)الستروما(لأعضاء مثل العقد اللمفاوية، و الطحال، والغدة الزعترية، ونخاع العظم. الفراغ بين الألياف مملوء بالخ لايا الدموية. إذا تخيلت إسفنجة مشبعة بالدم، فإن ألياف الإسفنجة تشبه إلى حد كبير ستروما النسيج الشبكى.
النسيج الصام الكثيف المنتظم)الشكل 5.16(يُسمى بذلك لخا صيتين:)1(ألياف الكولاجين مضغوطة بإحكام)كثيفة(وتترك مساحة مفتوحة قليلة نسبيًا، و)2(الألياف متوازية مع بعضها البعض)منتظمة(. يوجد بشكل خاص فى الأوتار والأربطة. الترتيب المتوازى للألياف ه و تكيف مع حقيقة أن الضغوط العضلية الهيكلية تسحب الأوتار والأر بطة فى اتجاهات متوقعة. مع استثناءات بسيطة مثل الأوعية الدموية وألياف الأعصاب الحسية، الخلايا الوحيدة فى هذا النسيج هى الخلايا الليفية، التى يمكن رؤيتها بنوبها الرفيعة التى تصبغ باللون البنفسجى والمضغوطة بين حزم الكولاجين. هذا النوع من النسيج يحتوى على أو عية دموية قليلة، لذا فإن الأوتار والأربطة المصابة تلتئم ببطء.

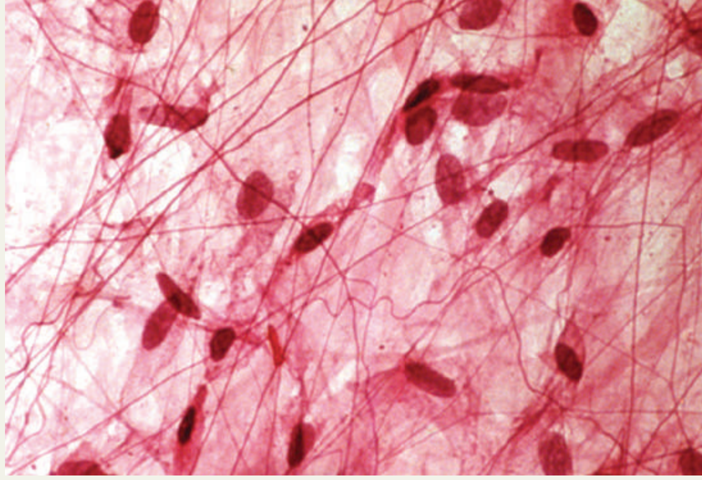
الأحبال الصوتية وبعض أربطة العمود الفقرى مصنوعة من نسيج صام كثيف منتظم يسمى النسيج المرن. بالإضافة إلى ألياف الكولاج ين المضغوطة بإحكام، يظهر أليافًا مرنة متفرعة والمزيد من الخلايا الل يفية. الخلايا الليفية لها نوى أكبر وأكثر وضوحًا مما هو موجود فى مع ظم النسيج الصام الكثيف المنتظم.
تشكل الأنسجة المرنة أيضًا صفائح متموجة فى الشرايين الكبيرة والم توسطة. عندما يضخ القلب الدم إلى الشرايين، تتيح هذه الصفائح لها التمدد وتخفيف بعض الضغط على الأوعية الأصغر فى الأسفل. عندما يرتاح القلب، يعود جدار الشريان إلى وضعه الطبيعى ويمنع انخفاض ضغط الدم بشكل كبير بين نبضات القلب. تصبح أهمية هذه الأنسجة المرنة واضحة بشكل خاص فى أمراض مثل متلازمة مارفان)انظر ال تعمق 5.2(وتصلب الشرايين، حيث تتصلب الأنسجة بسبب ترسبا ت الدهون والكالسيوم)انظر التعمق 19.4(.

[17]أنطوان برنارد-جان مارفان)1858–1942(، طبيب فرنسى

[16]*الهالة* = مساحة صغيرة

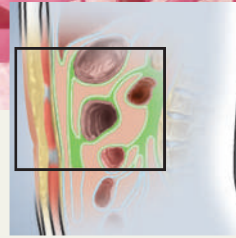
الجدول 5.4 الأنسجة الصامة الفضفاضة

النسيج الرخو



)أ(





)ب(

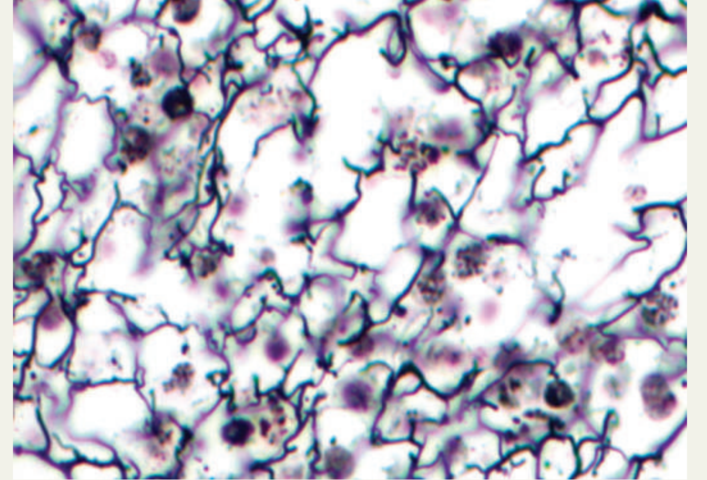
الشكل ٤١.٥ النسيج الرخو. انتشار المساريقا
APR)×٤٠٠(.)أ(صورة ضوئية.)ب(رسم موضح.

أ: دينيس ستريت/ماكجرو هيل

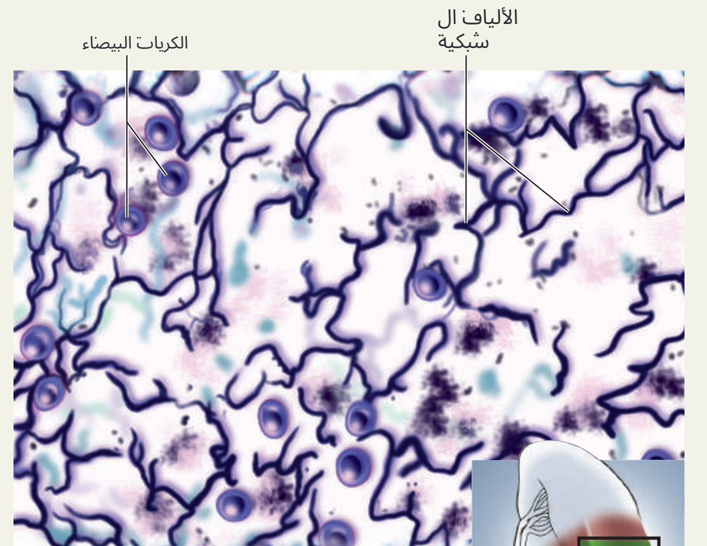
المظهر المجهرى: ترتيب فضفاض لألياف الكولاجين والألياف المرنة؛ خلايا متناثرة من أنواع مختلفة؛ مادة أرضية وفيرة؛ أوعية دموية عديدة

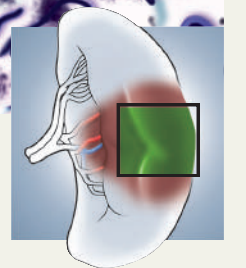
المواقع التمثيلية: تحت معظم الظهاريات تقريبًا؛ تحيط بالأوعية الدموية، الأعصاب، المرىء، والقصبة الهوائية؛ اللفافة بين العضلات؛ المساريق؛ الطبقات الحشوية للتامور والغشاء الجنبيالوظائف: تربط الظهاريات بأنسجة أعمق بشكل فضفاض؛ تسمح بمرور الأعصاب والأوعية الدموية عبر الأنسجة الأخرى؛ توفر ساحة للدفاع المناعى؛ توفر الأوعية الدموية المغذية وإزالة الفضلات للظهاريات المغطية

النسيج الشبكى



)أ(





)ب(

الشكل 5.15 النسيج الشبكى. الطحال)×400(.)أ(صورة ضوئية.)
APR ب(رسم موضح.

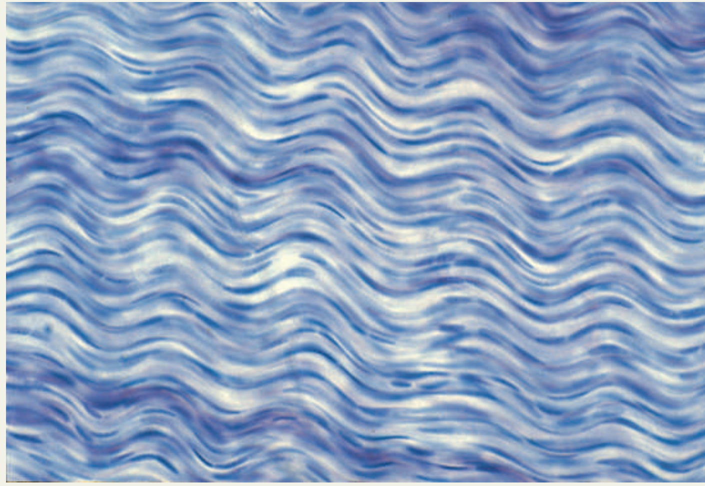
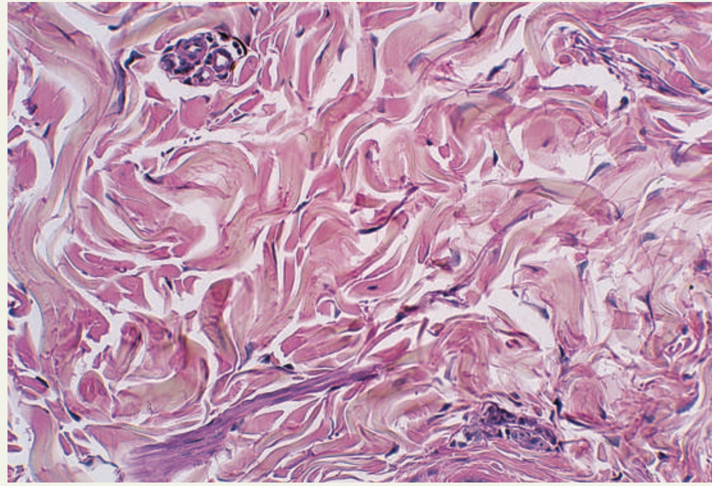
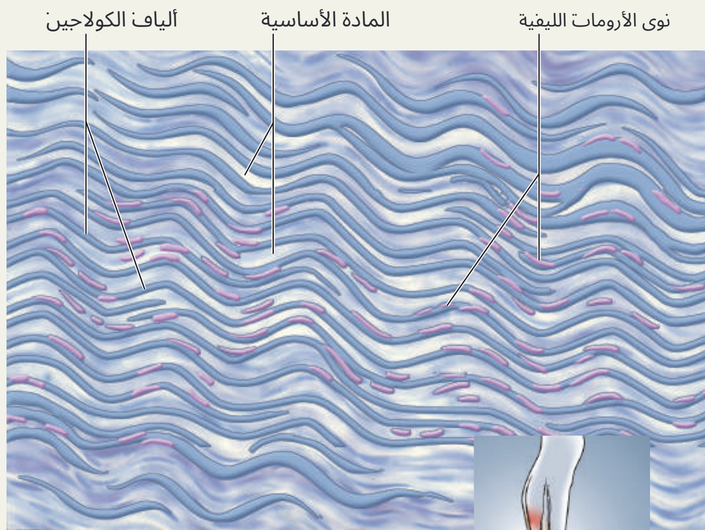
أ: التلسر/ماكجرو هيل

المظهر المجهرى: شبكة فضفاضة من الألياف الشبكية والخلايا، مخترقة بعدد كبير من الكريات البيضاء، خاصة اللمفاويات

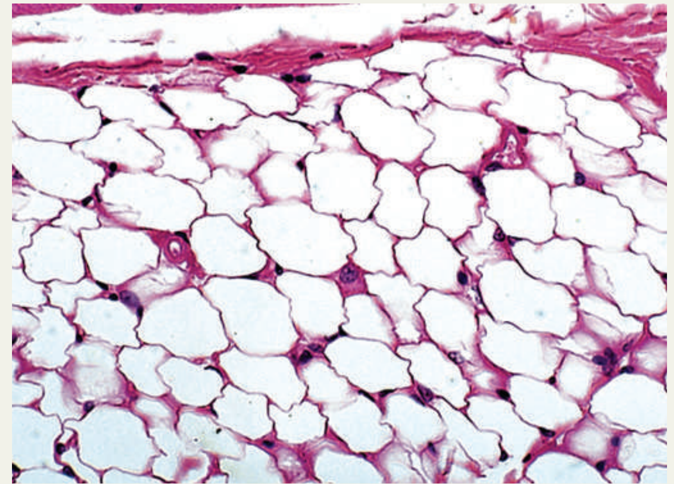
المواقع التمثيلية: العقد اللمفاوية، الطحال، الغدة الزعترية، نخاع العظم

الوظيفة: تشكل الدعامة الداعمة)الإطار(للأعضاء اللمفاوية

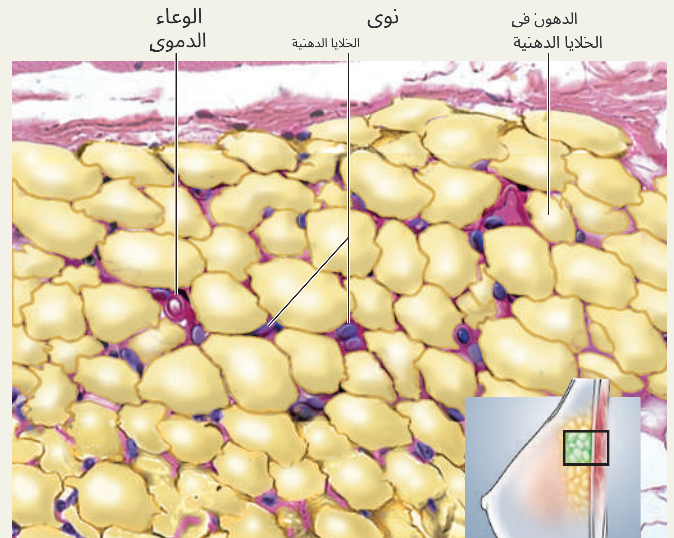
الجدول 5.5 الأنسجة الصامة الكثيفة

الأنسجة الصامة الكثيفة المنتظمة	نسيج صام كثيف غير منتظم
)أ(	)أ(
)ب(	)ب(
الشكل 5.16 نسيج صام كثيف منتظم. وتر)400×(.)أ(صورة ضوئية.)ب(رسم معنون. APR أ: دينيس ستريت/ماكجرو هيل	الشكل 5.17 نسيج صام كثيف غير منتظم. الأدمة للبشرة)400×(.)أ(صورة ضوئية.)ب(رسم معنون. APR أ: دينيس ستريت/ماكجرو هيل
المظهر المجهري: ألياف الكولاجين متراصة بكثافة، متوازية وغالبًا ما تكون متموجة نوى الأرومات الليفية رفيعة مضغوطة بين حزم الكولاجين؛ مساحة مفتوحة ضئيلة)المادة الأساسية(؛ ندرة الأوعية الدموية المواقع التمثيلية: الأوتار والأربطة الوظائف: الأربطة تربط العظام بإحكام وتقاوم الإجهاد؛ الأوتار تربط العضلات بالعظام وتنقل التوتر العضلي إلى العظام	المظهر المجهري: ألياف الكولاجين مكتظة بكثافة وتنتشر في اتجاهات عشوائية؛ مساحة مفتوحة قليلة)المادة الأرضية(؛ عدد قليل من الخلايا المرئية؛ ندرة الأوعية الدموية المواقع التمثيلية: الجزء الأعمق من الأدمة في الجلد؛ الكبسولات حول الأحشاء مثل الكبد والكلى والطحال؛ الأغلفة الليفية حول الغضاريف والعظام الوظائف: تتحمل الإجهادات المطبقة في اتجاهات غير متوقعة؛ تمنح المتانة للأنسجة

الجدول 5.6	النسيج الدهنى



)أ(



)ب(

الشكل 5.18 النسيج الدهنى الأبيض. الثدى)×100(.)أ(صورة ضوئية.) ب(رسم موضح. APR

أ: دينيس ستريت/ماكجرو هيل

المظهر المجهرى: يهيمن عليه الخلايا الدهنية—خلايا كبيرة ذات مظهر فارغ مع حواف رقيقة؛ غالبًا ما تكون مقاطع الأنسجة شاحبة جدًا ب سبب ندرة السيتوبلازم المصبوغ؛ الخلايا الدهنية منكمشة؛ النواة مضغو طة ضد غشاء البلازما؛ الأوعية الدموية موجودة

المواقع التمثيلية: الدهون تحت الجلد تحت الجلد؛ الثدى؛ سطح القلب؛ الم ساريق؛ تحيط بالأعضاء مثل الكلى والعينين

الوظائف: تخزين الطاقة؛ العزل الحرارى؛ إنتاج الحرارة بواسطة الدهون البنية ؛ وسادة واقية لبعض الأعضاء؛ ملء الفراغ، تشكيل الجسم

5.3c النسيج الدهنى

النسيج الدهنى، أو الدهون، هو نسيج تكون فيه الخلايا الدهنية هى النوع السائد من الخلايا)الجدول 5.6 و الشكل 5.18(. قد توجد الخلايا الدهنية أيضًا بشكل منفرد أو فى مجموعات صغيرة فى النسيج الأرولى. المساحة بين الخلايا الدهنية تشغلها الأنسجة الأرولية، والأنسجة الشبكية، والشعيرات الدموية. الدهون هى المخزون الأساسى للطاقة فى الجسم. كمية ثلاثى الغ ليسريد المخزن وعدد الخلايا الدهنية)الخلايا الشحمية(مستقرة إلى ح د كبير فى الشخص، لكن هذا لا يعنى أن الدهون المخزنة ثابتة. يتم با ستمرار تصنيع ثلاثى الغليسريد جديد وتخزينه بينما يتم تحلله وإطلاقه فى الدورة الدموية. وبالتالى، هناك تجدد مستمر لثلاثى الغليسريد الم خزن، مع توازن بين التخليق والتحلل، وتخزين الطاقة واستخدامها.

هناك نوعان من الدهون فى الإنسان — الدهون البيضاء)أو الص فراء(والدهون البنية. النسيج الدهنى الأبيض)WAT(، أو الدهون ال بيضاء، هو الأكثر وفرة وهو أهم نسيج دهنى فى جسم البالغين. عادةً ما يكون قطر خلايا الدهون فيه من 70 إلى 120 ميكرومتر، لكن قد تكون أكبر بخمس مرات فى الأشخاص البدناء. تحتوى على قطيرة واحدة كبيرة مركزية من ثلاثى الغليسريد. يقتصر السيتوبلازم على طبق ة رقيقة تقع مباشرة تحت غشاء البلازما، ويتم دفع النواة إلى حافة الخ لية. وبما أن ثلاثى الغليسريد يذوب فى معظم التقنيات النسيجية، فإ ن خلايا الدهون فى معظم العينات تبدو فارغة ومجعدة قليلاً، مع تشا به يشبه شبكة الدجاج.
توفر الدهون البيضاء عزلًا حراريًا، وتثبت وتدعم أعضاء مثل العي نين والكليتين، وتساهم فى تحديد ملامح الجسم مثل الثديين والورك ن عند النساء. فى المتوسط، تمتلك النساء دهونًا أكثر نسبةً إلى وزن ا لجسم مقارنة بالرجال. تساعد الدهون فى تلبية الاحتياجات الحرارية أ ثناء الحمل والرضاعة، وقلة الدهون تقلل من خصوبة النساء. بالإضافة إلى دورها فى العزل وتخزين الطاقة، يفرز النسيج الدهنى الأبيض هرم ونات تساعد فى تنظيم استقلاب الطاقة فى الجسم. يعتبره بعض الخ براء عضوًا صماءً)غدديًا(.
النسيج الدهنى البنى)BAT(، أو الدهون البنية، يوجد بشكل رئ يسى فى الأجنة والرضع والأطفال، لكن البالغين لديهم أيضًا رواسب أ قل منه. يشكل ما يصل إلى 6% من وزن الرضيع، ويركز بشكل خاص فى وسادات الدهون فى الكتفين والجزء العلوى من الظهر وحول الكل يتين والقلب. يخزن الدهون على شكل عدة قطرات صغيرة بدلاً من ق طيرة كبيرة واحدة. يحصل على لونه من كثافة عالية من الشعيرات الد موية، وعدد أكبر من الميتوكوندريا مقارنة بالدهون البيضاء، وخاصةً م ن الإنزيمات المحتوية على الحديد فى الميتوكوندريا.
الدهون البنية هى نسيج مولد للحرارة تطور فى الثدييات كحماية من الإجهاد البارد وانخفاض حرارة الجسم، خاصةً عند الرضع. معظم ا لميتوكوندريا فى الجسم تؤكسد الوقود العضوى لنقل أكبر قدر ممكن من الطاقة إلى ATP، لكن ميتوكوندريا الدهون البنية تطلق كل تلك ال طاقة على شكل حرارة بدلاً من ذلك. الدهون البنية معصبة بشكل كثي ف من قبل الجهاز العصبى الودى، الذى يستجيب بشدة للبرد. تحفز هذه الألياف العصبية الميتوكوندريا على تحطيم الدهون المخزنة لتدف ئة الجسم.
هذا أمر حاسم بشكل خاص للرضع لأسباب عدة. لديهم نسبة أعل ى من مساحة سطح الجسم إلى الحجم وبالتالى يفقدون الحرارة بسرع ة أكبر، خاصةً من خلال رؤوسهم الكبيرة نسبيًا. مع نظام عضلى غير نا ضج، لا يستطيع الرضع حتى عمر 6 أشهر توليد الحرارة عن طريق الار تجاف. أنظمتهم العصبية ليست ناضجة بما يكفى للاستجابة بسرعة للبرد بوسائل مثل تضييق الأوعية الدموية الجلدية لتقليل فقدان الحرا رة عبر الجلد. وبالطبع، لا يمكنهم الاستجابة للبرد كما نفعل نحن بارتدا ء ملابس أكثر أو الانتقال إلى مكان أكثر دفئًا. لذلك، يكون الرضع عر ضة بشدة لانخفاض حرارة الجسم؛ والدهون البنية هى واحدة من

لثدييات التى تسبب مثل الدببة تصنع أيضًا الدهون البنية استعدادًا للشتاء.

▶▶▶ طبق ما تعرفه
لماذا يحتاج الرضع والأطفال إلى المزيد من الدهون البنية مقارنة
بالبالغين؟)تلميح: الأجسام الأصغر لها نسبة سطح إلى حجم أعلى
من الأجسام الأكبر.(

5.3d الغضروف

الغضروف هو نسيج صام صلب نسبيًا مع مصفوفة مرنة مطاطية؛ يم
كنك أن تشعر بملمسه عن طريق طى وإفراج الأذن الخارجية أو تحس
س طرف أنفك أو الغضروف الدرقى للحنجرة)"تفاحة آدم"(. كما يم
كن رؤيته بسهولة فى العديد من المواد الغذائية—إنه الجزء اللبنى اللو
ن عند أطراف أضلاع الخنزير وعلى عظام ساق وصدر الدجاج، على س
بيل المثال. من بين وظائف أخرى، يشكل الغضروف ويدعم الأنف وا
لأذنين ويحيط جزئيًا بالحنجرة)صندوق الصوت(، والقصبة الهوائية، و
تجويف الصدر.
يُنتج الغضروف بواسطة خلايا تُسمى الخلايا الغضروفية الابتدائية
)كوندروبلاستات[18]، التى تفرز المصفوفة وتحيط نفسها بها حتى تُح
بس فى تجاويف صغيرة تُسمى الفجوات)لاكوانى[19](. بمجرد احتجازه
ا فى الفجوات، تُسمى الخلايا الخلايا الغضروفية)كوندروسيتات(. الغ
ضروف خالٍ من الشعيرات الدموية، لذا تعتمد التغذية وإزالة الفضلا
ت على انتشار المذاب عبر المصفوفة الصلبة. وبما أن هذه عملية بط
يئة، فإن الخلايا الغضروفية لها معدلات منخفضة من الأيض وانقسام
الخلايا، ويشفى الغضروف المصاب ببطء.
المصفوفة غنية بالجليكوزأمينوجليكانات وتحتوى على ألياف كولا
جين تتراوح من دقيقة غير مرئية إلى خشنة واضحة.
الاختلافات فى الألياف توفر أساسًا لتصنيف الغضروف إلى ثلاثة أنواع
: *الغضروف الزجاجى*، *الغضروف المرن*، و *الغضروف الليفى*)موضح
فى الجدول 5.7 و الأشكال 5.19 حتى **5.21**(
الغضروف الزجاجى)هاى-ألين[20](يُسمى بهذا الاسم بسبب مظه
ره الشفاف والزجاجى، الذى ينبع من دقة ألياف الكولاجين التى تكون
عادة غير مرئية. الغضروف المرن يُسمى كذلك بسبب أليافه المرنة ا
لواضحة، و الغضروف الليفى بسبب حزم الكولاجين الخشنة والمرئية
بوضوح. الغضروف المرن ومعظم الغضروف الزجاجى محاط بغلاف م
ن النسيج الصام غير المنتظم الكثيف يُسمى الغلاف الغضروفى)[21]
بيريكوندريوم(. تساهم مجموعة احتياطية من الخلايا الغضروفية الابتدا
ئية بين الغلاف الغضروفى والغضروف فى نمو الغضروف طوال الحياة
. الغلاف الغضروفى مفقود فى الغضروف الليفى وبعض الغضاريف ا
لزجاجية، مثل الأغطية الغضروفية عند أطراف العظام الطويلة.

5.3e العظم

العظم أو النسيج العظمى)الجدول 5.8، الشكل 5.22(، هو نسيج
صام صلب متكلس يشكل الهيكل العظمى. مصطلح *العظم* له معنيا
ن فى التشريح—عضو كامل مثل عظم الفخذ والفك السفلى، أو مجرد
النسيج العظمى. تتكون العظام ليس فقط من النسيج العظمى، بل أ
يضًا من الغضروف، ونخاع العظم، والنسيج الصام غير المنتظم الكثى
ف، وأنواع أخرى من الأنسجة.

هناك شكلان من النسيج العظمى:)1(العظم الإسفنجى يملأ رؤو
س العظام الطويلة ويشكل الطبقة الوسطى من العظام المسطحة م
ثل عظم القص وعظام الجمجمة. على الرغم من أنه متكلس وصلب،
فإن شظاياه الدقيقة وصفائحه تعطيه مظهرًا إسفنجيًا)انظر الشكل 7.
4a(.)2(العظم المضغوط)الكثيف(هو نسيج متكلس أكثر كثافة بدو
ن فراغات مرئية بالعين المجردة. يشكل السطوح الخارجية لجميع الع
ظام، لذا فإن العظم الإسفنجى، عندما يكون موجودًا، يكون دائمًا مغط
ى بقشرة من العظم المضغوط.
تُوصف المزيد من الفروقات بين العظم المضغوط والإسفنجى
فى الفصل 7. هنا، ندرس فقط العظم المضغوط.
معظم العينات التى تدرسها ستكون على الأرجح رقائق من العظم الم
ضغوط الميت والجاف المطحون إلى رقة مجهرية. فى مثل هذه التحض
يرات، تكون الخلايا غائبة لكن الفراغات تكشف عن مواقعها السابقة.
معظم العظم المضغوط مُرتب فى أسطوانات من النسيج تحيط بالق
نوات المركزية)قنوات العظم(، التى تمتد طوليًا عبر أعمدة العظام الط
ويلة مثل عظم الفخذ. تمر الأوعية الدموية والأعصاب عبر هذه القنوا
ت. يتم ترسيب مصفوفة العظم فى طبقات متحدة المركز — طبقات
تشبه البصل تحيط بكل قناة. تُسمى القناة المركزية وطبقاتها المحيط
ة بالعظمون. الفراغات بين الطبقات يشغلها خلايا العظم الناضجة، أو
العظمية. قنوات دقيقة تُسمى القنوات العظمية تمتد من كل فراغ إل
ى الجيران وتسمح للعظمية بالتواصل مع بعضها البعض. يُغطى العظ
م ككل بغشاء عظمى)بيرى أوستيوم(، وهو غشاء ليفى قوى مشابه للغ
شاء المحيط بالغضروف.

حوالى ثلث الوزن الجاف للعظم هو الكولاجين والجليكوزامينوجلي
كانات، التى تمكن العظم من الانحناء قليلاً تحت الضغط. ثلثا وزنه ع
بارة عن معادن)فى الغالب أملاح الكالسيوم والفوسفات(التى تمكن ا
لعظام من مقاومة الضغط الناتج عن وزن الجسم.

5.3f الدم

الدم)الجدول 5.9، الشكل 5.23(هو نسيج صام سائلى ينتقل عبر الأو
عية الدموية الأنبوبية. وظيفته الأساسية هى نقل الخلايا والمواد المذا
بة من مكان إلى آخر. قد يبدو غريبًا أن نسيجًا سائلاً مثل الدم وآخر ص
لب مثل العظم يُعتبران كلاهما من الأنسجة الصامة، لكنهما يشتركان
فى أكثر مما يبدو للوهلة الأولى. مثل الأنسجة الصامة الأخرى، يتكون ا
لدم من مادة أرضية أكثر من الخلايا. المادة الأرضية فيه هى بلازما الدم
ومكوناته الخلوية تُسمى مجتمعة العناصر المُشكلة. عامل آخر يضع ا
لدم ضمن فئة الأنسجة الصامة هو أنه يُنتج بواسطة الأنسجة الصامة
لنخاع العظم والأعضاء اللمفاوية. على عكس الأنسجة الصامة الأخرى،
لا يظهر الدم أليافًا إلا عند تخثره.

العناصر المُشكلة هى من ثلاثة أنواع — كريات الدم الحمراء، وكر
يات الدم البيضاء، والصفائح الدموية. كريات الدم الحمراء[23])إريثروسا
يتس(، أو خلايا الدم الحمراء)RBCs(، هى الأكثر وفرة. فى شرائح الدم ا
لمصبوغة، تبدو كأقراص وردية ذات مراكز رقيقة وشاحبة وبدون نوى.
تنقل كريات الدم الحمراء الأكسجين وثانى أكسيد الكربون. كريات الدم
البيضاء، أو خلايا الدم البيضاء)WBCs(، تقوم بأدوار مختلفة فى الدفا
ع ضد العدوى والأمراض الأخرى. تنتقل من عضو إلى آخر عبر مجرى ا
لدم واللمف لكنها تقضى معظم حياتها فى الأنسجة الصامة. كريات ا
لدم البيضاء هى إلى حد ما

---

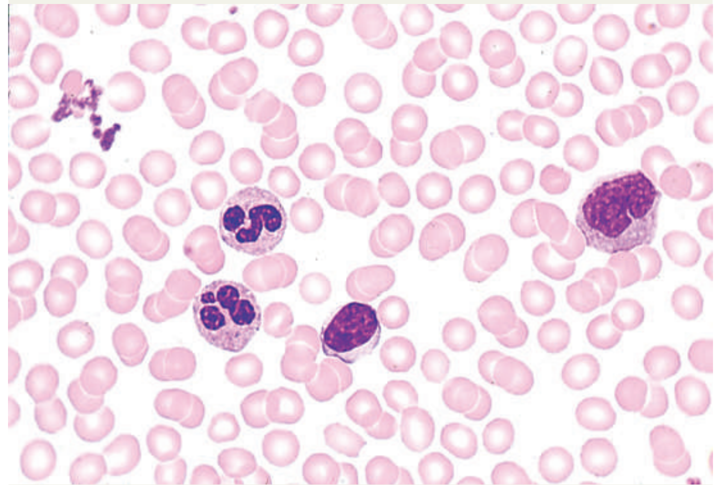
[18] *كوندرو* = غضروف؛ *بلاست* = تكوين
[19] *لاكونا* = بحيرة، تجويف
[20] *هيال* = زجاج
[21] *بيرى* = حول؛ *كوندرى* = غضروف

[22] *أوستيو* = عظم؛ *سايت* = خلية
[23] *إريثرو* = أحمر؛ *سايت* = خلية

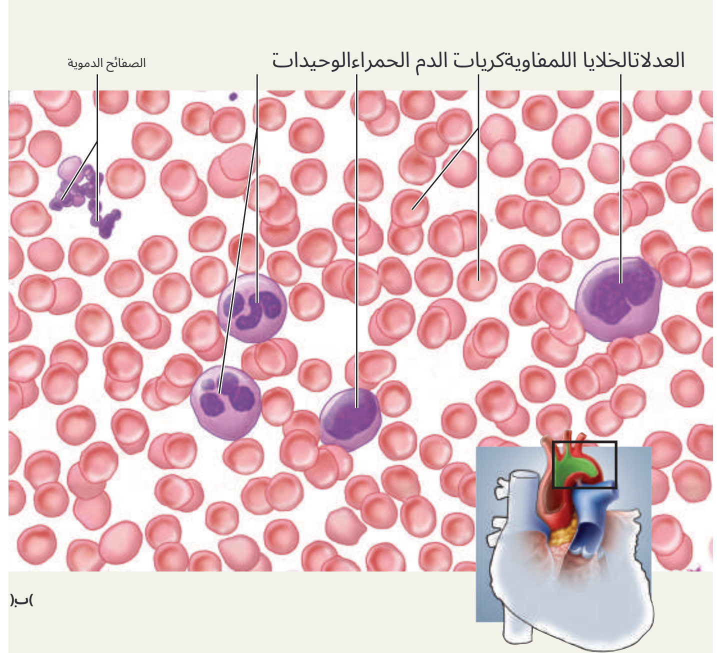
الجدول 5.7 الغضروف

الغضروف الليفي	الغضروف المرن	الغضروف الزجاجي
)أ(	)أ(	)أ(
ألياف الكولاجين، خلايا الغضروف)خلايا غضروفية(	الغضروف المحيط، مرن ألياف، فراغات غضروفية)لاكونى(وخلايا غضروفية)كوندروسيت(	الفجوات، عش ا، الغشاء المحيط بالغضروف)البيريكوندريوم(، المصفوفة، الخلايا، خلايا الغضروف)خلايا غضروفية(
)ب(	)ب(	)ب(
الشكل 5.21 الغضروف الليفي. القرص بين الفقرات)×400(.)أ(صورة ضوئية)ب(رسم معنون.	الشكل 5.20 الغضروف المرن. الأذن الخارجية)×1,000(.)أ(صورة ضوئية.)ب(رسم موضح.	الشكل 5.19 الغضروف الزجاجي. القصبة الهوائية)×400(.)أ(صورة ضوئية.)ب(رسم موضح.
أ: د. ألفين تيلسر	أ: إد ريشكى / ستون / جيتى إيماجز	أ: إد ريشكى / ستون / جيتى إيماجز
المطهر المجهرى: ألياف كولاجين متوازية تشبه تلك الموجود ة فى الأوتار؛ صفوف من الخلايا الغضروفية)خلايا الغضر وف(فى فجوات بين ألياف الكولاجين؛ لا يحتوى أبداً على غ شاء غضروفى خارجى)بيريكوندريوم(المواقع التمثيلية: الارتفاق العانى)المفصل الأمام ى بين نصفى الحزام الحوضى(؛ الأقراص بين الف قرات، التى تفصل عظام العمود الفقرى؛ الغضار يف الهلالية، أو وسائد الغضروف الممتص للصدما ت، فى مفصل الركبة؛ فى النقاط التى تندمج فيها ا لأوتار مع العظام بالقرب من الغضروف الزجاجي ا لمفصلى الوظائف: مقاومة الضغط وامتصاص الصدمات فى بعض المفاصل؛ غالبًا ما يكون نسيجًا انتقاليًا بين النسيج الصام الكثيف والغضروف الزجاجي)على سبيل المثال، فى بعض وصلات الوتر بالعظم)	المطهر المجهرى: تشكل الألياف المرنة شبكة شبيهة بالويب بين الفراغات؛ دائمًا مغطاة بالغشاء المحيط بالغضروف)البيريكوندريوم(المواقع التمثيلية: الأذن الخارجية؛ بطانة الحنجرة الوظائف: توفر دعمًا مرنًا ومرنًا	المطهر المجهرى: مصفوفة واضحة وزجاجية، غالبًا ما تُصبغ باللون الأزرق الفاتح أو الوردى فى مقاطع الأنسجة؛ ألياف كولاجين دقيقة ومبعثرة، عادةً غير مرئية؛ الخلايا الغضروفية محاطة فى فجوات، غالبًا فى مجموعات صغيرة من ثلاث أو أربع خلايا)عشائر الخلايا(؛ عادةً ما يغطيها الغشاء المحيط با لغضروف المواقع التمثيلية: غضروف مفصلى رقيق يفتقر إلى الغضروف المحيط، يقع فوق نهايات العظا م فى المفاصل المتحركة؛ حلقات وألواح داعمة حو ل القصبة الهوائية والشعب الهوائية؛ غلاف يشبه ال صندوق حول الحنجرة؛ جزء كبير من الهيكل العظم ى الجنينى؛ و غضروف ضلعى يربط نهاية الضلع بعطم القصالوظائف: يسهل حركة المفاصل؛ يحا فظ على فتح مجرى الهواء أثناء التنفس؛ يحرك الأحبال الصوتية أثناء الكلام؛ مقدمة للعطم فى اله يكل العظمى الجنينى ومناطق نمو العظام الطويلة للأطفال

الجدول 5.9 الدم



)أ(



)ب(

الشكل 5.23 مسحة دم)× 1,000(.)أ(صورة ضوئية.)ب(رسم موضح. APR

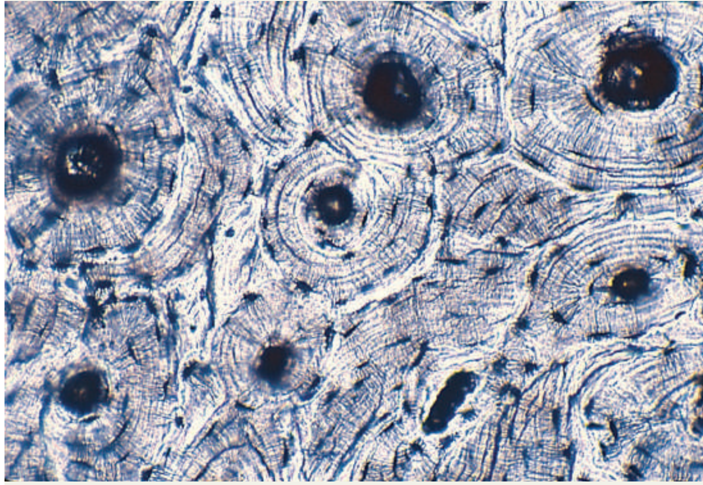
أ: إد ريشكى / ستون / جيتى إيماجز

المظهر المجهرى: تظهر كريات الدم الحمراء كأقراص وردية باهتة ذات مراكز فاتحة وبدون نوى؛ الكريات البيضاء أكبر قليلاً، وأعدادها أقل بكثير، ولها أنوية بأشكال مختلفة، عادة ما تكون ملطخة باللون البنفسجى؛ الصفائح الدموية هى شظايا خلوية بدون نوى، بحجم حوالى ربع قطر كريات الدم الحمراء

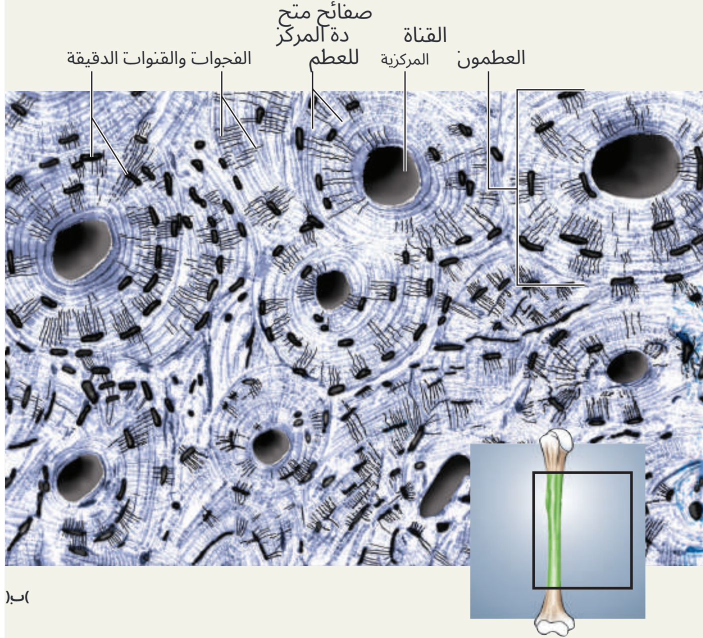
المواقع التمثيلية: موجودة فى القلب والأوعية الدموية

الوظائف: تنقل الغازات، والمواد الغذائية، والنفايات، والإشارات الكيميائية، والحرارة فى جميع أنحاء الجسم؛ توفر الكريات البيضاء الدفاعية؛ تحتوى على عوامل تخثر لتقليل النزيف؛ تفرز الصفائح الدموية عوامل نمو تعزز صيانة الأنسجة وإصلاحها

الجدول 5.8 العطم



)أ(



)ب(

الشكل 5.22 العطم المضغوط)× 100(.)أ(صورة ضوئية.)ب(رسم موضح. APR

أ: دينيس ستريت/ماكجرو هيل

المظهر المجهرى)العطم المضغوط(: مصفوفة متكلسة مرتبة فى صفائح متحدة المركز حول القنوات المركزية؛ الخلايا العطمية فى الفجوات بين الصفائح المتجاورة؛ الفجوات متصلة بقنوات دقيقة رفيعة

الموقع التمثيلى: الهيكل العطمي

الوظائف: الدعم الفيزيائى للجسم؛ الرافعة لحركة العضلات؛ الحماية للأعضاء الداخلية؛ مخزون الكالسيوم والفوسفور

الاستثارة هى فرق فى الشحنة الكهربائية)الجهد(يسمى
جهد *الغشاء*، الذى يحدث عبر أغشية البلازما لكافة الخلايا. تستجيب ا
لأنسجة العصبية والعضلية بسرعة للمحفزات الخارجية من خلال تغيير
ات فى جهد الغشاء. فى الخلايا العصبية، تؤدى هذه التغيرات إلى نقل
سريع للإشارات إلى خلايا أخرى. فى الخلايا العضلية، تؤدى إلى الانق
باض، أو تقصير الخلية.

5.4أ النسيج العصبى

النسيج العصبى)الجدول 5.10، الشكل 5.24(متخصص فى التواصل
من خلال الإشارات الكهربائية والكيميائية. يتكون من الخلايا العصبية
)نورونات(، أو خلايا الأعصاب، وعدد أكبر بكثير من الخلايا الدبقية)نى
وروجليا(، أو خلايا الدبق)غليال(، التى تحمى وتساعد الخلايا العصبية
. تكتشف الخلايا العصبية المحفزات، وتستجيب بسرعة، وتنقل المع
لومات المشفرة بسرعة إلى خلايا أخرى. لكل خلية عصبية جسم خلية
بارز يحتوى على النواة ومعظم العضيات الأخرى. هذا هو مركز التحكم
الجينى وتخليق البروتين فى الخلية. عادةً ما تكون أجسام الخلايا الع
صبية مستديرة أو بيضاوية أو نجمية الشكل. تمتد من جسم الخلية عا
دةً عدة زوائد قصيرة ومتفرعة تسمى التغصنات[24] التى تستقبل الإشا
رات من خلايا أخرى وتنقل الرسائل إلى جسم الخلية؛ ومحور عصبى وا
حد أطول بكثير المحور العصبى، أو الليف العصبى، الذى يرسل الإ
شارات الصادرة إلى خلايا أخرى. بعض المحاور العصبية يزيد طولها ع
ن متر وتمتد من جذع الدماغ إلى القدم.

تشكل الخلايا الدبقية معظم حجم النسيج العصبى.
عادةً ما تكون أصغر بكثير من الخلايا العصبية. هناك ستة أنواع من ال
خلايا الدبقية، موصوفة فى الفصل 12، والتى توفر مجموعة متنوعة م
ن الوظائف الداعمة، والحامية، و"الصيانة" للجهاز العصبى. على الرغم
من أنها تتواصل مع الخلايا العصبية ومع بعضها البعض، إلا أنها لا تن
قل إشارات لمسافات طويلة.
يوجد النسيج العصبى فى الدماغ والحبل الشوكى)الجهاز العصبى
المركزى(، والأعصاب، والعقد العصبية، وهى انتفاخات تشبه العقد
فى الأعصاب حيث تتركز أجسام الخلايا العصبية خارج الجهاز العصبى
المركزى. يتم وصف التغيرات المحلية فى بنية النسيج العصبى فى ا
لفصول من 12 إلى 16.

5.4ب النسيج العضلى

النسيج العضلى متخصص فى الانقباض عند التحفيز، وبالتالى فى مم
ارسة قوة مادية على أنسجة أو أعضاء أو سوائل أخرى—على سبيل الم
ثال، العضلة الهيكلية تسحب العظم، والقلب ينقبض ويطرد الدم، وا
لمثانة تنقبض وتطرد البول. لا تعتمد حركات الجسم وأطرافه فقط عل
ى العضلات، بل تعتمد عليها أيضًا عمليات مثل الهضم، وإخراج الف
ضلات، والتنفس، والكلام، ودورة الدم. كما أن العضلات مصدر مهم ل
حرارة الجسم.

هناك ثلاثة أنواع من النسيج العضلى—الهيكلى، والقلب، والمل
ساء—تختلف فى المظهر، والفسيولوجيا، والوظيفة)كما هو موضح
فى الجدول 5.11 والأشكال 5.25 حتى **5.27**(. يمكن تسمية أى خلية ع
ضلية بالخلايا العضلية. تُستخدم مصطلحات أكثر تحديدًا، كما سترى،
للإشارة إلى الخصائص الخاصة بالعضلات الهيكلية والقلبية.

[24]تغصن = شجرة؛ *ite* = صغير

أكبر من كريات الدم الحمراء ولها نوى بارزة تظهر عادة باللون البنفسج
ى فى التحضيرات الملونة. هناك خمسة أنواع، تُميز جزئيًا من خلال اخ
تلافات فى شكل النواة: *العدلات، الحمضات-*
العدلات، القعدات، اللمفاويات، و*الوحيدات*. تُعتبر خصائصها الفردية
بالتفصيل فى الفصل 18. الصفائح الدموية هى شظايا خلوية صغيرة
متناثرة بين خلايا الدم. وهى تشارك فى التجلط وآليات أخرى لتقليل
فقدان الدم، وفى إفراز عوامل النمو التى تعزز نمو الأوعية الدموية و
صيانتها.

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك
للقسم السابق:

9. ما الخصائص التى تشترك فيها معظم أو كل الأنسجة الضامة ل
تميز هذه الفئة عن الأنسجة العصبية والعضلية والطهارية؟
10. اذكر أنواع الخلايا والألياف الموجودة فى الأنسجة الضامة الليفية وبيّ
ن اختلافاتها الوظيفية.
11. ما هى المواد التى تُسهم فى القوام الهلامى للمادة الأرضية للنسيج ا
لضام؟
12. ما هو النسيج الأرولى؟ كيف يمكن تمييزه عن أى نوع آخر من الأن
سجة الضامة؟
13. ناقش الفرق بين النسيج الضام الكثيف المنتظم والنسيج الضام ا
لكثيف غير المنتظم كمثال على العلاقة بين الشكل والوظيفة.
14. وصف بعض أوجه التشابه والاختلاف والعلاقات الوظيفية بين الغ
ضروف الزجاجى والعظم.
15. ما هى الأنواع الثلاثة الأساسية للعناصر المشكلة فى
الدم، وما هى وظائفها respective؟

5.4 الأنسجة العصبية والعضل ية—الأنسجة القابلة للاستثارة

الأهداف التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. شرح ما يميز الأنسجة القابلة للاستثارة عن الأنسجة الأخرى؛
ب. تسمية أنواع الخلايا التى تتكون منها الأنسجة العصبية؛
ج. تحديد الأجزاء الرئيسية لخلية العصب؛
د. التعرف بصريًا على الأنسجة العصبية من العينات أو الصور ا
لفوتوغرافية؛
هـ. تسمية الأنواع الثلاثة للأنسجة العضلية ووصف الفروق بينها؛ و
و. التعرف بصريًا على أى نوع من الأنسجة العضلية من الع
ينات أو الصور الفوتوغرافية.

القابلية للاستثارة هى خاصية لجميع الخلايا الحية، لكنها تتطور إلى أق
صى درجة فى الأنسجة العصبية والعضلية، والتى توصف لذلك بأنها أ
نسجة قابلة للاستثارة. الأساس لذلك

العضلات الهيكلية تتكون من خلايا طويلة تشبه الخيوط تُسمى ألياف عضلية. معظم العضلات الهيكلية متصلة بالعظام، لكن هناك استثناءات في اللسان، والمريء العلوي، وبعض عضلات الوجه، وبعض عضلات المصرة[25] (SFINK-tur) (حلقات عضلية تفتح وتغلق ممرات الجسم). توصف العضلات الهيكلية بأنها مخططة وطوعية. المصطلح الأول يشير إلى التناوب بين الأشرطة الفاتحة والداكنة، أو الخطوط المخططة (stry-AY-shuns)، التي تُنشأ بواسطة نمط تداخل خيوط البروتين السيتوبلازمية التي تسبب انقباض العضلات. المصطلح الثاني، *الطوعية* يشير إلى حقيقة أننا عادةً نتحكم بوعي في العضلات الهيكلية.

تظهر ألياف العضلات الهيكلية نوى متعددة مضغوطة على الجانب الداخلي لغشاء البلازما. تحتوي ألياف العضلات على عدد مذهل من 30 إلى 77 نواة لكل مليمتر، وبعض أطول الألياف في الجهاز العضلي البشري يصل طولها إلى 30 سم—مما يشير إلى وجود أكثر من 20,000 نواة في خلية واحدة! الألياف العضلية النموذجية تكون حوالي 3 سم طولًا وتحتوي على حوالي 900 نواة تقريبًا.

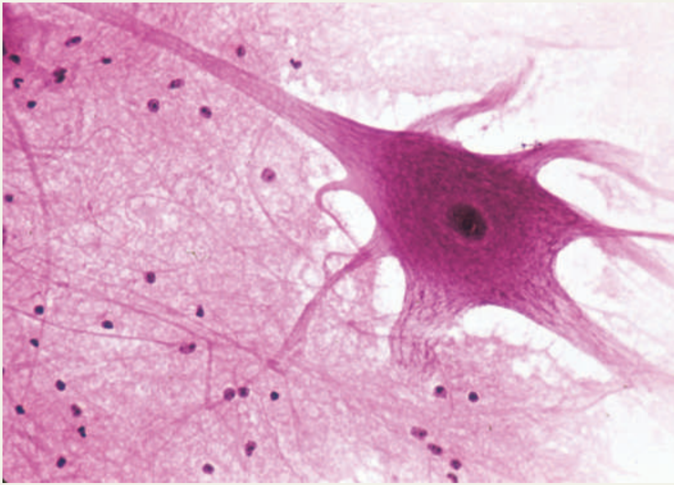
العضلة القلبية تقتصر على القلب. خلاياها، التي تُسمى خلايا عضلة القلب (كارديوميوسايتس[26])، مخططة لكنها تختلف عن العضلات الهيكلية في خصائص أخرى. فهي أقصر بكثير ومتفرعة أو مشقوقة عند الأطراف. عادةً ما تحتوي على نواة واحدة فقط تقع بالقرب من المركز وغالبًا ما تحيط بها منطقة فاتحة اللون من الجليكوجين؛ بعض الخلايا تحتوي على نواتين. ترتبط خلايا عضلة القلب نهاية بنهاية بواسطة وصلات تُسمى الأقراص المتداخلة[27] (in-TUR-kuh-LAY-ted). الاتصالات الميكانيكية في هذه الأقراص تمنع الخلايا من الانفصال عند انقباض القلب. الوصلات الكهربائية في الأقراص تسمح لموجة من الإثارة الكهربائية بالانتقال بسرعة من خلية إلى أخرى بحيث تُحفز جميع خلايا عضلة القلب في حجرة القلب وتتقلص تقريبًا في نفس الوقت. تظهر الأقراص المتداخلة كخطوط عرضية داكنة تفصل كل خلية عن الأخرى. قد تكون مرئية بشكل خافت فقط، إلا إذا تم تلوين النسيج خصيصًا لها. تُعتبر العضلة القلبية *لا إرادية* لأنها عادةً ليست تحت السيطرة الواعية؛ فهي تنقبض حتى لو تم قطع جميع الاتصالات العصبية بها.

العضلة الملساء تفتقر إلى الخطوط المخططة وهي لا إرادية. خلايا العضلة الملساء مغزلية الشكل وقصيرة نسبيًا. تحتوي على نواة واحدة فقط تقع في المركز. توجد كميات صغيرة من العضلة الملساء في قزحية العين وفي الجلد، لكن معظمها، الذي يُسمى العضلة الحشوية، يشكل طبقات في جدران الجهاز الهضمي، والجهاز التنفسي، والجهاز البولي؛ الأوعية الدموية؛ الرحم؛ وأعضاء أخرى. في أماكن مثل المريء والأمعاء الدقيقة، تشكل العضلة الملساء طبقات متجاورة، حيث تحيط خلايا طبقة واحدة بالعضو، وخلايا الطبقة الأخرى تمتد طوليًا. عندما تنقبض العضلة الملساء الدائرية، تدفع المحتويات مثل الطعام عبر العضو. من خلال تنظيم قطر الأوعية الدموية، تلعب العضلة الملساء دورًا مهمًا في التحكم في ضغط الدم وتدفقه. كل من العضلة الملساء والهيكلية تشكلان عضلات مصرة تتحكم في تفريغ المثانة والمستقيم.

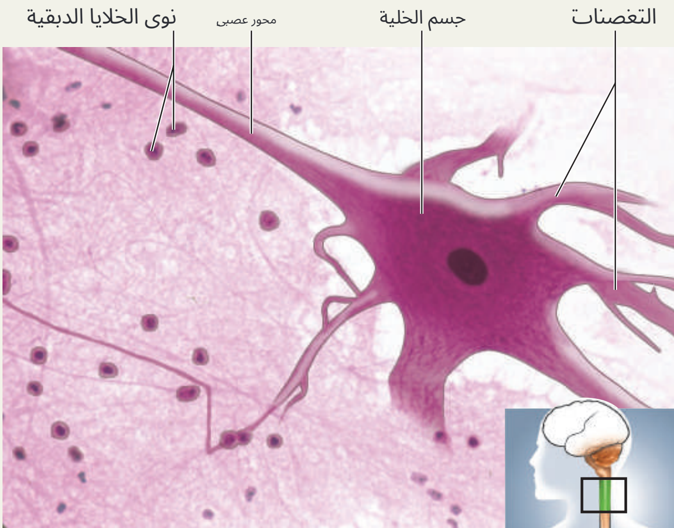
▶▶▶ طبق ما تعرفه

كيف يختلف معنى كلمة ألياف في الاستخدامات التالية: ألياف عضلية، ألياف عصبية، وألياف النسيج الضام؟

الجدول 5.10 النسيج العصبي



(أ)



(ب)

الشكل 5.24 العصبون والخلايا الدبقية. مسحة الحبل الشوكي (400×). (أ) صورة ضوئية. (ب) رسم موضح. APR

أ: إد ريشكي/مكتبة الصور/ستون/غيتي إيماجز

المظهر المجهري: تُظهر معظم المقاطع بعض الخلايا العصبية الكبيرة، عادةً مع أجسام خلوية مستديرة أو نجمية وعمليات ليفية (محور عصبي وتغصنات) تمتد من الأجسام الخلوية؛ تحيط بالخلايا العصبية عدد أكبر من الخلايا الدبقية الصغيرة جدًا، والتي تفتقر إلى التغصنات والمحاور العصبية.

المواقع التمثيلية: الدماغ، الحبل الشوكي، الأعصاب، العقد العصبية

الوظيفة: التواصل الداخلي

[25] *sphinc* = عصر، ربط بإحكام

[26] *cardio* = القلب؛ *myo* = العضلة؛ *cyte* = الخلية

[27] *inter* = بين؛ *calated* = مدرج

الجدول 5.11 النسيج العضلى

العضلة الملساء	العضلة القلبية	العضلات الهيكلية
)أ(خلايا العضلات، النوى)ب(	)أ(الأقراص المتداخلة، الخطوط، الجليكوجين)ب(	)أ(ألياف العضلات المخططة، النوى)ب(
الشكل 5.27 العضلات الملساء. جدار الأمعاء (×1,000).)أ(صورة مجهرية ضوئية.)ب(رسم موضح. APR أ: دينيس ستريت/ماكجرو هيل	الشكل ٥.٢٦ العضلة القلبية (×٤٠٠).)أ(صورة مجهرية ضوئية.)ب(رسم معنون. APR أ: إد ريشكى / ستون / جيتى إيماجز	الشكل ٥.٢٥ العضلات الهيكلية (×٤٠٠).)أ(صورة مجهرية ضوئية.)ب(رسم موضح. APR أ: إد ريشكى/مكتبة الصور/ستون/غيتى إيماجز
المطهر المجهرى: خلايا مغزلية قصيرة متداخلة مع بعضها البعض؛ غير مخططة؛ نواة واحدة لكل خلية، تقع فى المركز المواقع التمثيلية: عادةً ما توجد ك صفائح نسيجية فى جدران الأوعية الدموية و الأحشاء مثل الجهاز الهضمى؛ أيضًا فى القزحية ومرتبطة ببصيلات الشعر؛ المصارين اللاإرادية للإحليل والشرج الوظائف: البلع؛ انقباضات المعدة والأمعاء؛ طرد ال براز والبول؛ انقباضات الولادة؛ التحكم فى ضغط الدم وتدفقه؛ التحكم فى تدفق الهواء التنفسى؛ التحكم فى قطر الحدقة؛ انتصاب الشعر؛ تحت التحكم اللاإرادى	المطهر المجهرى: خلايا قصيرة)خلايا عضلة القلب(ذات نهايات مشقوقة أو متفرعة قليلاً؛ مطهر أقل تواريًا فى مقاطع الأنسجة؛ خطوط عرضية؛ أقراص متداخلة؛ نواة واحدة لكل خلية، تقع فى المركز وغالبًا ما تحيط بها منطقة فاتحة الموقع التمثيلى: القلب الوظائف: ضخ الدم؛ تحت التحكم اللاإرادى	المطهر المجهرى: خلايا طويلة، خيطية، غير متفرعة)ألياف(، متوازية نسبيًا فى مقاطع الأنسجة الطولى؛ خطوط عرضية؛ نوى متعددة لكل خلية، بالقرب من غشاء البلازما المواقع التمثيلية: العضلات الهيكلية، غالبًا ما تكون ملتصقة بالعظام ولكن أيضًا فى اللسان، المرىء، وتحيط بالشفاه، الجفون، الإحليل، والشرج الوظائف: حركات الجسم، تعابير الوجه، الوضعية، التنفس، الكلام، البلع، التحكم فى التبول و التغوط، والمساعدة فى الولادة؛ تحت التحكم الإرادى

وأخرى في المجالات الجانبية أو القاعدية؛ تحد الوصلات المحكمة من مدى تحرك البروتينات المتجولة وتحافظ على فصلها في المجالات ال مناسبة من الغشاء حيث تحتاج إلى أداء مهامها.

الوصمات

الوصمة[28])ديز-مو-سوم(هي رقعة تربط الخلايا معًا إلى حد ما مثل الز ر في بنطال الجينز. الوصمات ليست مستمرة ولا يمكنها منع مرور ال مواد حولها وبين الخلايا، لكنها تعمل على منع انفصال الخلايا وتمكن ا لنسيج من مقاومة الإجهاد الميكانيكي. الوصمات شائعة في البشرة، والظلاء الظلائي لعنق الرحم، وظلاءات أخرى، وعضلة القلب. تنشأ برو تينات على شكل حرف J من الهيكل الخلوي، تقترب من سطح الخل ية من الداخل، وتخترق رقعة بروتينية سميكة على الوجه الداخلي لغ شاء البلازما؛ ثم يعود الذراع القصير لحرف J إلى داخل الخلية—مما يثبت الهيكل الخلوي في رقعة الغشاء. ترتبط بروتينات الرقعة ببروتينا ت عابرة للغشاء وهذه بدورها ترتبط ببروتينات عابرة للغشاء في الخلي ة المجاورة، مكونة منطقة من التصاق الخلايا القوي. كل خلية تعكس ا لأخرى وتساهم بنصف الوصمة. تخلق هذه الاتصالات شبكة هيكلية قوية تربط الخلايا معًا في جميع أنحاء النسيج.ترتبط الخلايا القاعدية ل لظلاء الظلائي بطريقة مماثلة بالغشاء القاعدي الكامن بواسطة نصف وصمات تسمى نصف الوصمات، لذلك لا يمكن للظلاء الظلائي أن ينفصل بسهولة عن النسيج الكامن تحته.

طبق ما تعرفه

لماذا لا تكون الوصمات مناسبة كنوع وحيد من وصلات الخلايا بين خلايا الظلاء الظلائي في المعدة؟

وصلات الفجوة

تتكون وصلة الفجوة)التواصلية(من كونكسون، وهو عبارة عن ست بروتينات عابرة للغشاء مرتبة في حلقة، تشبه إلى حد ما شرائح البرتقا ل، تحيط بقناة مملوءة بالماء. يمكن للأيونات والجلوكوز والأحماض الأ مينية وغيرها من الجزيئات الصغيرة أن تمر مباشرة من سيتوبلازم خل ية إلى أخرى عبر هذه القناة. في الجنين، تنتقل المغذيات من خلية إل ى أخرى عبر وصلات الفجوة حتى يتكون الجهاز الدوري ويتولى دور توز يع المغذيات. في عضلة القلب ومعظم العضلات الملساء، تسمح و صلات الفجوة بمرور الإثارة الكهربائية مباشرة من خلية إلى أخرى بحي ث تنقبض الخلايا بتزامن شبه كامل.)وصلات الفجوة غائبة في العض لات الهيكلية.(في عدسة العين وقرنيتها، اللتين تفتقران إلى الأوعية ا لدموية، تسمح وصلات الفجوة بمرور المغذيات والمواد الأخرى من خ لية إلى أخرى.

5.5ب الغدد

الغدة هي خلية أو عضو يفرز مواد لاستخدامها في أماكن أخرى من الج سم أو للتخلص منها كنفايات. قد يكون منتج الغدة شيئًا تصنعه خلايا ها)مثل الإنزيمات الهضمية(أو شيئًا يُزال من الأنسجة ويُعدل بواسط ة الغدة)مثل البول وصبغات الصفراء(. يُطلق على المنتج اسم

[28] desmo= شريط، رباط، رابط؛ som= جسم

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

16. ما القاسم المشترك بين النسيج العصبي والعضلي؟ ما الوظيفة الأساسية لكل منهما؟

17. ما أنواع الخلايا التي يتكون منها النسيج العصبي، وكيف يمكن التم ييز بينها؟

18. اذكر الأنواع الثلاثة للنسيج العضلي، وصف كيفية التمييز بينها في ا لمظهر المجهري، واذكر موقعًا ووظيفة لكل منها.

5.5 وصلات الخلايا، الغدد، و الأغشية

الأهداف التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف الوصلات التي تربط الخلايا والأنسجة معًا؛

ب. وصف أو تعريف أنواع الغدد المختلفة؛

ج. وصف التشريح النموذجي للغدة؛

د. تسمية ومقارنة أوضاع الإفراز الغدي المختلفة؛ و

هـ. وصف أنواع وتركيب أغشية الجسم.

5.5a الوصلات الخلوية

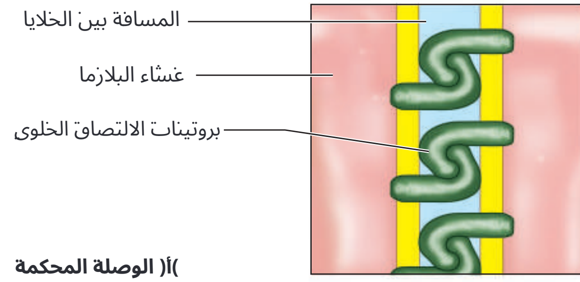
معظم الخلايا—باستثناء خلايا الدم، والبلعميات، وخلايا السرطان المن تشرة—يجب أن تكون مرتبطة ببعضها البعض وبالمصفوفة إذا كانت ستنمو وتنقسم بشكل طبيعي. تُسمى الروابط بين خلية وأخرى الوص لات الخلوية. تُمكّن هذه الوصلات الخلايا من مقاومة الإجهاد، والتوا صل مع بعضها البعض، والتحكم في حركة المواد عبر الأنسجة. بدونها ، كانت خلايا عضلة القلب ستنفصل عند انقباضها، وربما كان كل لقم ة طعام قد تخدش بطانة المريء.

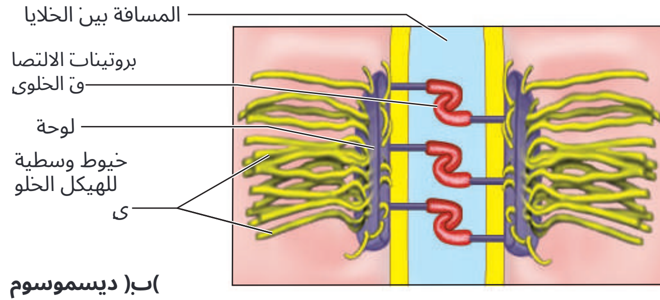
الأنواع الرئيسية للوصلات الخلوية موضحة في الشكل 5.28.

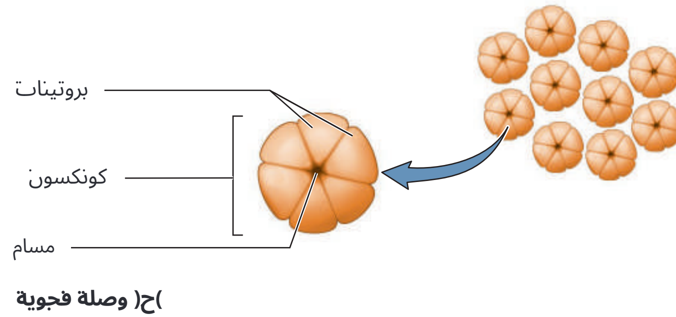
الوصلات المحكمة

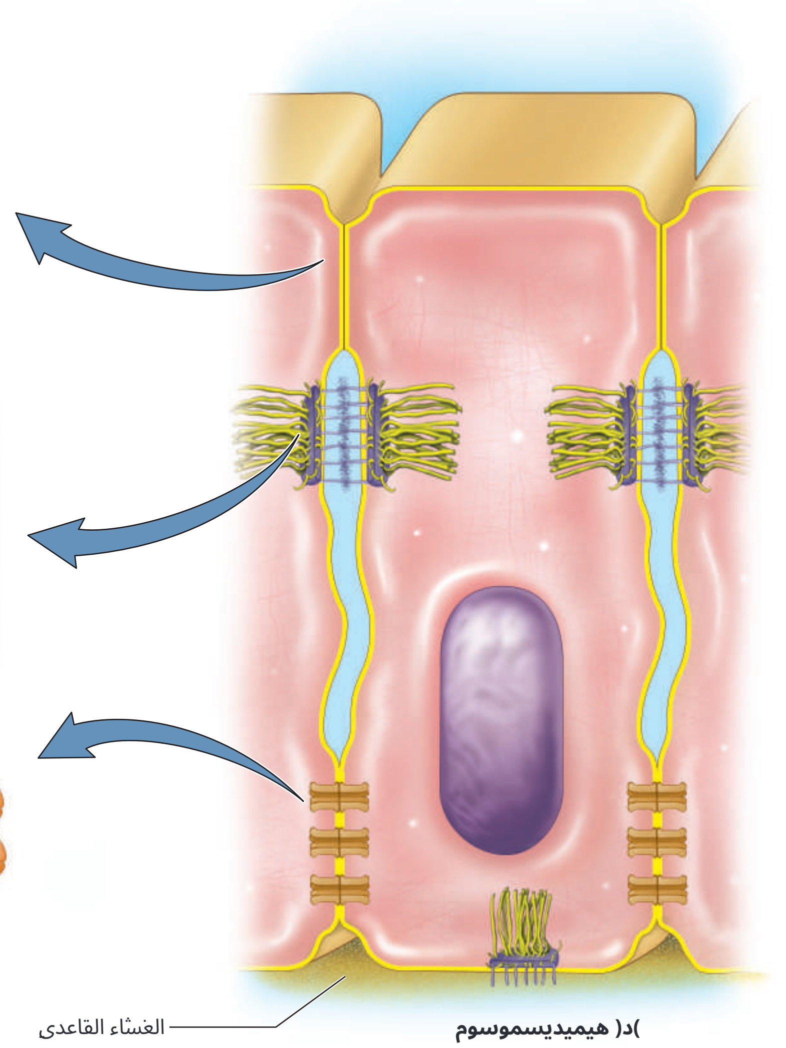
الوصلة المحكمة تحيط تمامًا بخلية ظلائية بالقرب من سطحها القمي وتربطها بإحكام بالخلايا المجاورة، إلى حد ما مثل الحزام البلاستيكي ع لى عبوة ست علب من المشروبات الغازية. عند الوصلة المحكمة، تق ترب أغشية البلازما لخلتين متجاورتين جدًا ويتم ربطها بواسطة بروتي نات التصاق خلوية عابرة للغشاء. هذه البروتينات المتشابكة تشبه ال سحّاب وتغلق الفراغ بين الخلايا وتجعل من الصعب أو المستحيل مر ور المواد بين الخلايا.

في المعدة والأمعاء، تمنع الوصلات المحكمة تسرب العصارات ا لهضمية بين الخلايا الظلائية وهضم النسيج الصام الكامن تحتها. كما تساعد في منع البكتيريا من غزو الأنسجة، وتضمن أن معظم المغذيا ت تمر عبر الخلايا الظلائية وليس بينها. بالإضافة إلى ذلك، تعمل بع ض بروتينات الغشاء في المجال القمي للخلية،









الشكل 5.28 هيكل أربعة أنواع من الوصلات الخلوية.)أ(الوصلة المحكمة.)ب(الديسموسوم.)ح(الوصلة الفجوية.)د(نصف ديسموسوم بين الخلية والغشاء القاعدى.

أى من هذه الوصلات يسمح بمرور المادة من خلية إلى أخرى مباشرة؟

الغدد الصماء[30] تفقد الاتصال بالسطح أثناء تطورها وبالتالى لا تحتوى على قنوات. ومع ذلك، فهى تحتوى على كثافة عالية من الشعيرات الدموية وتفرز منتجاتها مباشرةً فى الدم)الشكل 5.30أ(. تُسمى إفرازات الغدد الصماء بالهرمونات، وتعمل كرسل كيميائية لتحفيز الخلايا فى أماكن أخرى من الجسم. تشمل الغدد الصماء الغدة النخامية، الغدة الدرقية، والغدد الكظرية.

الغدد أحادية الخلية هى خلايا إفرازية توجد فى طهارة غالبًا ما تكون غير إفرازية. يمكن أن تكون صماء أو خارجية الإفراز. على سبيل المثال، الجهاز التنفسى، الذى يبطنه بشكل رئيسى خلايا مهدبة، يحتوى أيضًا على توزيع واسع لخلايا الكأس الإفرازية الخارجية)انظر الأشكال 5.6 و5.7(. يحتوى المعدة والأمعاء الدقيقة على خلايا صماء وفيرة تفرز هرمونات تنظم الهضم.

الغدد الصماء هى موضوع الفصل 17 ولن يتم التطرق إليها هنا.

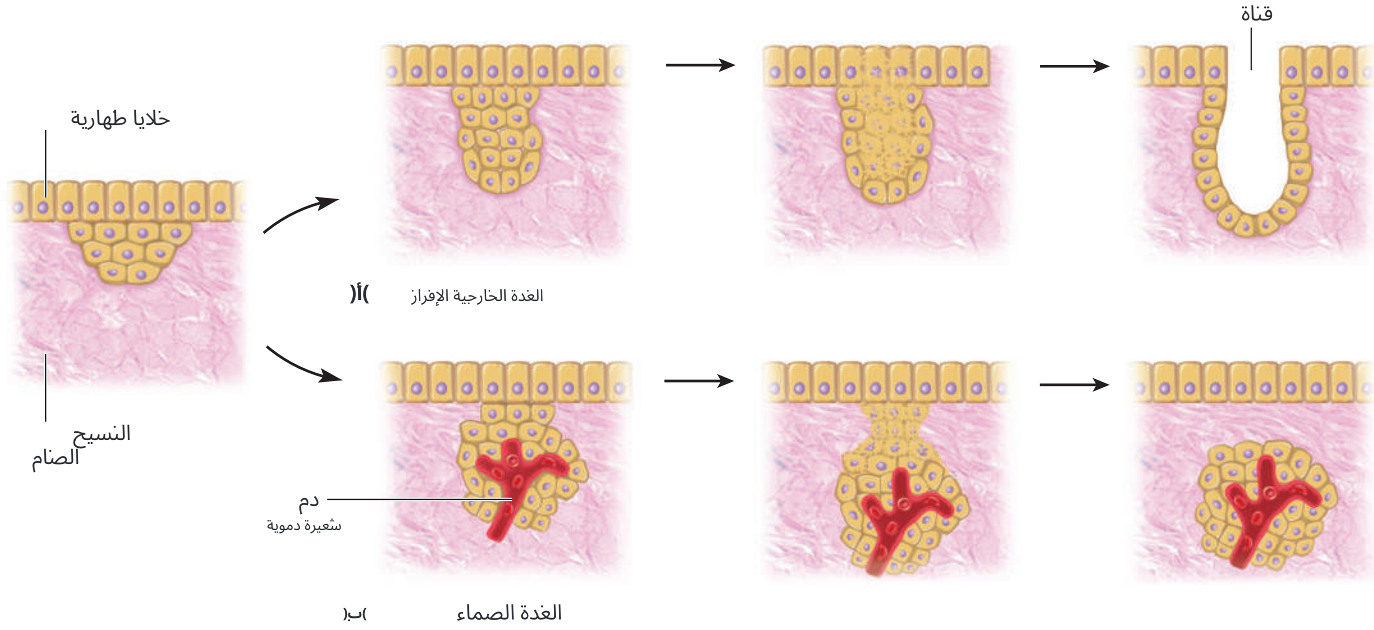
الإفراز إذا كان مفيدًا للجسم)مثل إنزيم أو هرمون(والإخراج إذا كان منتجًا نفاياتيًا)مثل البول والصفراء(. الغدد تتكون فى الغالب من نسيج طلائى، لكنها عادةً ما تحتوى على إطار داعم من النسيج الضام وكبسولة.

الغدد الصماء والغدد الخارجية الإفراز

تصنف الغدد إلى صماء أو خارجية الإفراز. كلا النوعين ينشآن من انطواءات فى الطهارة السطحية)الشكل 5.29(. الغدد الخارجية الإفراز[29])EC-so-crin(عادةً ما تحافظ على اتصالها بالسطح عبر قناة، وهى أنبوب طلائى ينقل إفرازها إلى السطح. قد يُفرَغ الإفراز إلى سطح الجسم، كما فى حالة الغدد العرقية، الثديية، والدمعية. ومع ذلك، فى كثير من الأحيان يتم إفرازه فى تجويف)لمعة(عضو آخر مثل الفم أو الأمعاء؛ وهذا هو الحال مع الغدد اللعابية والكبد والبنكرياس.

[30] *endo*= داخل، إلى؛ *crin* = يفصل، يفرز

[29] *exo*= خارج؛ *crin* = يفصل، يفرز



الشكل 5.29 تطور الغدد الخارجية والداخلية.)أ(تبدأ الغدة الخارجية بتكاثر الخلايا الطهارية إلى النسيج الصام أدناه. نوع من موت الخلايا يُسمى الاستماتة)apoptosis(يجوف النواة ويخلق قناة إلى السطح. تبقى الغدة متصلة بالسطح طوال الحياة عبر هذه القناة وتفرز إفرازاتها على السطح الطهارى.)ب(تبدأ الغدة الداخلية بطريقة مشابهة، لكن الخلايا التى تربطها بالسطح تتحلل بينما يصبح النسيج الإفرازى مخترقًا بالشعيرات الدموية. تقوم الخلايا الإفرازية بإفراز منتجاتها)الهرمونات(فى الدم.

هيكل الغدة الخارجية الإفراز

الغدد الخارجية متعددة الخلايا مثل البنكرياس والغدد اللعابية عادةً ما تكون محاطة بكبسولة ليفية)الشكل 5.30ب(. غالبًا ما تُصدر الكبسولة امتدادات تُسمى الحواجز)مفردها حاجز(، أو العوارض، التى تقسم داخل الغدة إلى أقسام تُسمى الفصوص، والتى يمكن رؤيتها بالعين المجردة. قد تقسم الحواجز النسيجية الصامة الدقيقة كل فص إلى فصيصات مجهرية. تمر الأوعية الدموية والأعصاب والقنوات الخاصة بالغدة عادةً عبر هذه الحواجز. الإطار النسيجى الصام للغدة، الذى يُسمى السدى، يدعم وينظم النسيج الغدى. تُسمى الخلايا التى تقوم بمهام التخليق والإفراز مجتمعةً النسيج البرانشيمى. وعادةً ما يكون هذا النسيج طلائيًا مكعبًا بسيطًا أو طلائيًا عموديًا بسيطًا.

تصنف الغدد الخارجية الإفراز حسب "الهيكلية" الخاصة بها—تفرع قنواتها ومطهر ومدى أجزاءها الإفرازية)الشكل 5.31(. تُسمى بسيطة إذا كان لديها قناة واحدة غير متفرعة و مركبة إذا كان لديها قناة متفرعة. إذا كانت القناة والجزء الإفرازى ذات قطر موحد، تُسمى الغدة أنبوبية. إذا شكلت الخلايا الإفرازية كيسًا متسعًا، تُسمى الغدة جوبية[31] والكيس هو الحويصلة)ASS-ih-nus(، أو الحويصلات[32])AL-vee-OH-lus( )الشكل 5.30ح(. غدة ذات جزء إفرازى

الخلايا فى كل من الأجزاء الأنبوبيّة والحُبيبيّة تُسمى غدة أنبوبيّة-حُبيبيّة)أنبوبيّة-حويصلية(.

أنواع الإفرازات

تصنف الغدد ليس فقط حسب هيكلها ولكن أيضًا حسب طبيعة إفرازاتها. الغدد المصلية)SEER-us(تنتج سوائل رقيقة ومائية نسبيًا مثل العرق والحليب والدموع والعصائر الهضمية. الغدد المخاطية، الموجودة فى تجاويف الفم والأنف من بين أماكن أخرى، تفرز جليكوبروتينيًا يسمى المخاط)mucin(. بعد إفرازه، يمتص المخاط الماء ويشكل مادة مخاطية لزجة. خلايا الكأس هى غدد مخاطية أحادية الخلية.)لاحظ أن كلمة المخاط، وهى الإفراز، تُكتب بشكل مختلف عن كلمة مخاطى، وهى الصفة.(الغدد المختلطة، مثل زوجى الغدد اللعابية فى الذقن، تحتوى على خلايا مصلية ومخاطية وتنتج مزيجًا من نوعى الإفرازات.

طرق الإفراز

تصنف الغدد الخارجية الإفراز إلى أنواع *إكرين*، *أبكرين*، و *هولكرين* وفقًا لكيفية إفرازها لمفرزاتها. الغدد الإكرينية[33])EC-rin(، التى تُسمى أيضًا الغدد الميروكينية[34])MERR-oh-crin(، تفرز منتجاتها عن طريق الإفراز الخلوى)exocytosis(. وتشمل هذه غدد الدموع، الغدد اللعابية، البنكرياس، ومعطم الغدد الأخرى. الغدد الثديية

[31]عُقيدة = توت
[32]حويصلة = تجويف، حفرة

[33]إك = *إكس* = خارج؛ *كرين* = يفصل، يفرز
[34]ميرو = جزء؛ *كرين* = يفصل، يفرز

من السيتوبلازم. كان يُعتقد سابقًا أن غدد العرق في منطقة الإبط
تستخدم طريقة الإفراز الأبكريني أيضًا. لكن الدراسات الدقيقة
أظهرت أن هذا غير صحيح؛ فهي إكرينية، لكنها مع ذلك تختلف
عن الغدد الميروكينية الأخرى في الوظيفة والمظهر النسيجي
)انظر الشكل 6.11(ولا تزال تُعرف باسم غدد العرق الأبكرينية.
في الغدد الهولكرينية[36]، تتراكم الخلايا منتجًا ثم تتحلل الخلية بأ
كملها، لتصبح الإفراز بدلاً من إفراز واحد)الشكل 5.32ح(. تميل ا
لإفرازات الهولكرينية إلى أن تكون سميكة وزيتية نسبيًا، وتتكون من
شظايا الخلايا والمواد التي صنعتها الخلايا قبل تحللها. تستخدم هذه ا
لطريقة عدد قليل فقط من الغدد، مثل الغدد المنتجة للزيت في فروة
الرأس ومناطق أخرى من الجلد، وبعض غدد الجفن.

5.5ح الأغشية

يصف الأطلس أ)القسم أ.3(التجاويف الرئيسية في الجسم والأغشية
التي تبطنها وتغطي أحشائها. ندرس الآن بعض الجوانب النسيجية له
ذه الأغشية. قد تتكون الأغشية من نسيج طلائي فقط؛ أو نسيج ضام
فقط؛ أو نسيج طلائي وضام وعضلي معًا.

أكبر غشاء في الجسم هو الغشاء الجلدي — أو ببساطة، الجلد)م
فصل في الفصل 6(. يتكون من طلائية حرشفية متعددة الطبقات)ال
بشرة(تستقر على طبقة من النسيج الضام)الأدمة(. على عكس الأغ
شية الأخرى التي سيتم النظر فيها، فهو جاف نسبيًا. يقاوم جفاف الج
سم ويوفر بيئة غير ملائمة لنمو الكائنات المعدية.

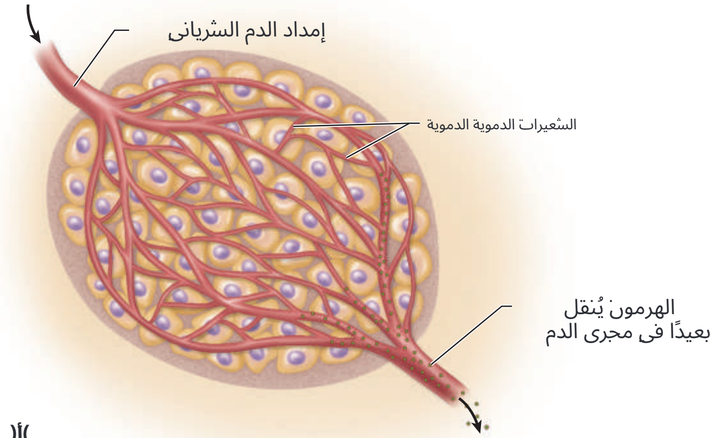
نوعا الأغشية الداخلية الرئيسيان هما الأغشية المخاطية والأغش
ة المصلية. الأغشية المخاطية)المخاطيات( )الشكل 5.33أ(تبطن الم
مرات التي تفتح على البيئة الخارجية: الجهاز الهضمي، التنفسي، البو
لي، والتناسلي. يتكون الغشاء المخاطي من طبقتين إلى ثلاث طبقات
:)1(طلائية؛)2(طبقة من النسيج الضام الرخو تسمى اللامينا بروبريا)
lamina propria([37]؛ و)3(غالبًا طبقة من العضلات الملساء
تسمى العضلة المخاطية)muscularis mucosae(. للأغشية المخا
طية وظائف امتصاصية، إفرازية، وحامية. غالبًا ما تغطيها مخاط تفرزه
خلايا الكأس، أو الغدد المخاطية متعددة الخلايا، أو كلاهما. يحبس الم
خاط البكتيريا والجسيمات الغريبة، مما يمنعها من غزو الأنسجة ويسا
عد في إزالتها من الجسم. قد تشمل الطلائية في الغشاء المخاطي أي
ضًا خلايا امتصاصية، مهدبة، وأنواع أخرى من الخلايا.

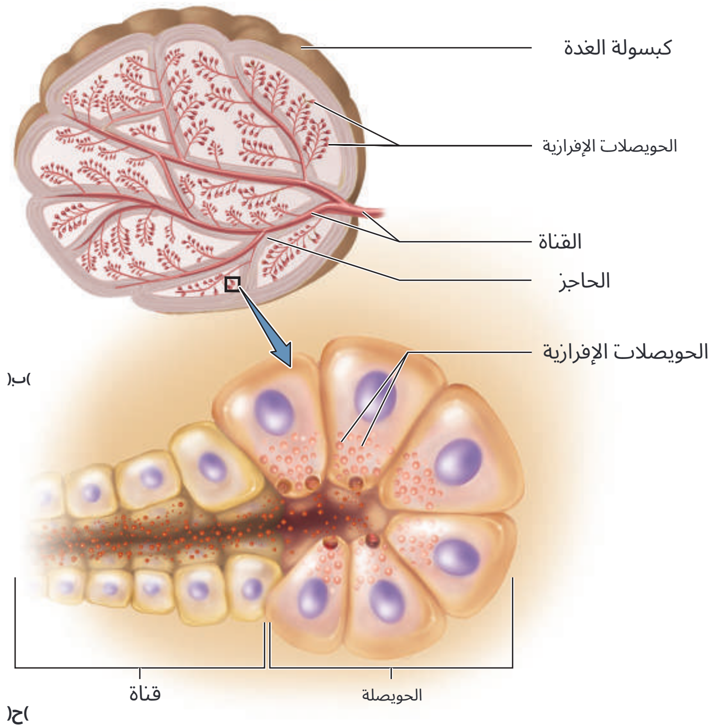
الغشاء المصلّي)السيروزا(يتكون من طلائية حرشفية بسيطة ت
ستقر على طبقة رقيقة من النسيج الضام الرخو)الشكل 5.33ب(. تن
تج الأغشية المصلية سائلًا مائيًا يُسمى السائل المصلّي، الذي ينشأ م
ن الدم ويُسمى كذلك لأنه مشابه لمصل الدم في التركيب. تبطن الأغ
شية المصلية داخل بعض تجاويف الجسم وتشكل سطحًا خارجيًا أمل
سًا على بعض الأحشاء، مثل الجهاز الهضمي. البلورا، التامور، والغشاء
البريتوني الموضحون في الأطلس أ هم أغشية مصلية.

تسمى الطبقة الطلائية في الغشاء المصلّي الميزوثيليوم.
يبطن الجهاز الدوري طلائية حرشفية بسيطة تسمى الإندوثيليوم،
وهي مشتقة من الأديم المتوسط. يستقر الإندوثيليوم على طبقة رقيق
ة من النسيج الرخو، والتي غالبًا ما تستقر بدورها على طبقة مرنة. مج
تمعة، تشكل هذه الأنسجة...

[36] *holo* = كامل، بأكمله؛ *crin* = للفصل، الإفراز

[37] *lamina* = طبقة؛ *propria* = خاص بالشخص نفسه



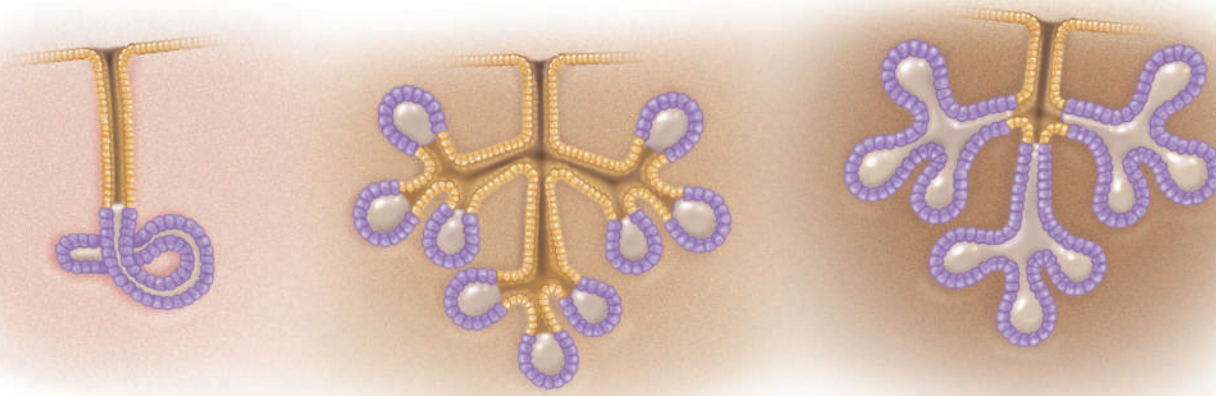


الشكل 5.30 التركيب العام للغدد الصماء والغدد الخارجية .)أ(الغدد ال
صماء لا تحتوي على قنوات ولكنها تحتوي على كثافة عالية من الشع
يرات الدموية وتفرز منتجاتها)الهرمونات(مباشرة في مجرى الدم.)ب(الغد
د الخارجية عادةً ما تحتوي على نظام من القنوات، التي غالبًا ما تتبع الح
واجز النسيجية الصامة، حتى تنتهي أقسامها الدقيقة في حويصلات كي
سية من الخلايا الإفرازية.
)ح(تفصيل لحويصلة وبداية قناة.

ما هي عملية نقل الغشاء التي تقوم بها خلايا الحويصلة في)ح(؟)راجع ا
لقسم 3.3f(.

تفرز الغدد سكر الحليب)اللاكتوز(والبروتينات)الكازين، اللاكتالبومين(
بهذه الطريقة)الشكل 5.32أ(، لكنها تفرز دهن الحليب بطريقة أخرى
تسمى الإفراز الأبوكريني[35])الشكل 5.32ب(. في هذه العملية، تتجم
ع الدهون من السيتوسول إلى قطرة تنمو من سطح الخلية، مغطاة بط
بقة من غشاء البلازما وفيلم رقيق جدًا

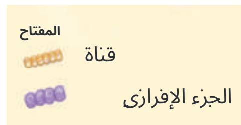
[35] *apo* = من، عن، بعيدًا؛ *crin* = للفصل، الإفراز



)أ(غدة أنبوبية ملتفة بسيطة
مثال: غدة العرق

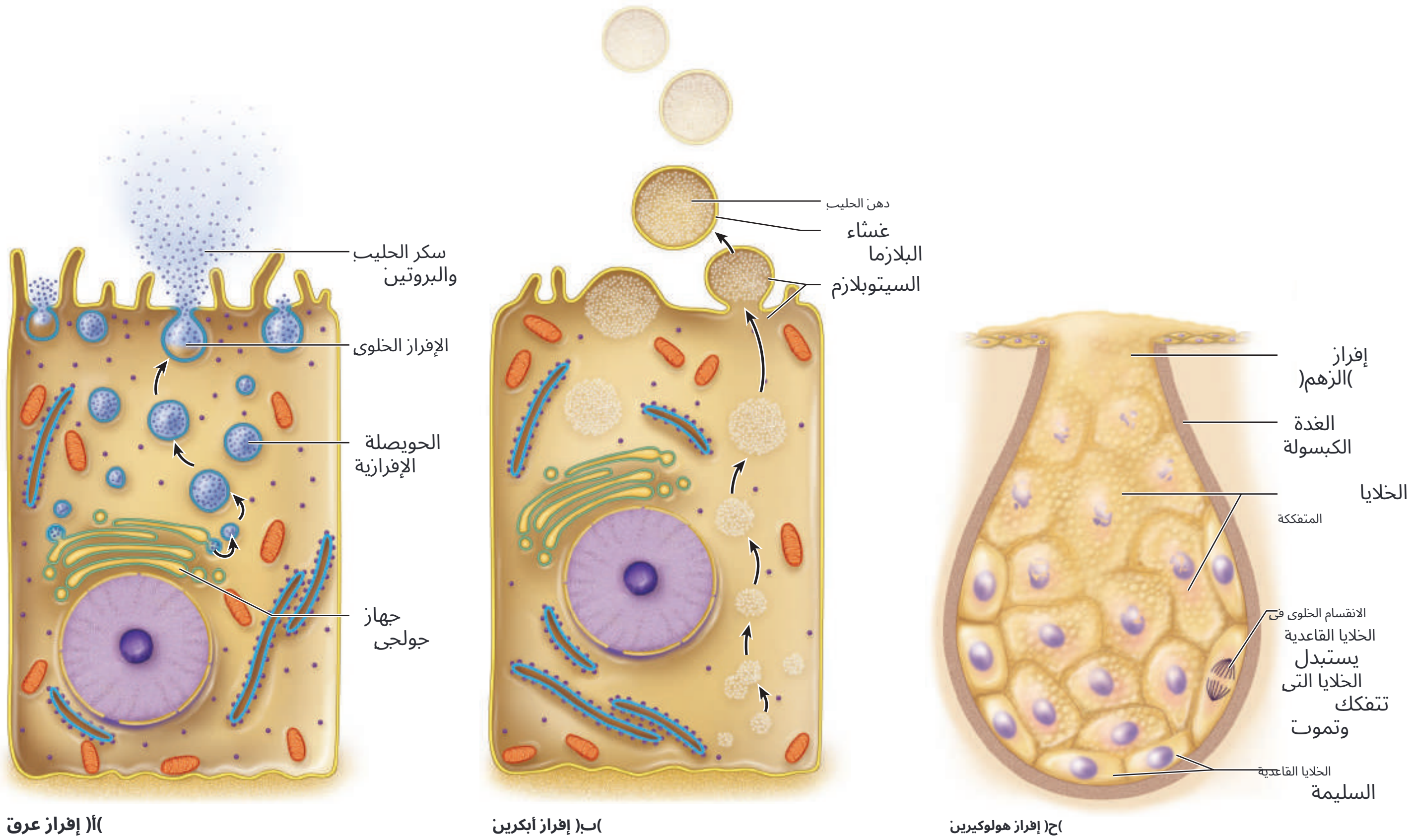
)ب(غدة أكينية مركبة
مثال: الغدة الثديية

)ح(غدة أنبوبية أكينية مركبة
مثال: البنكرياس

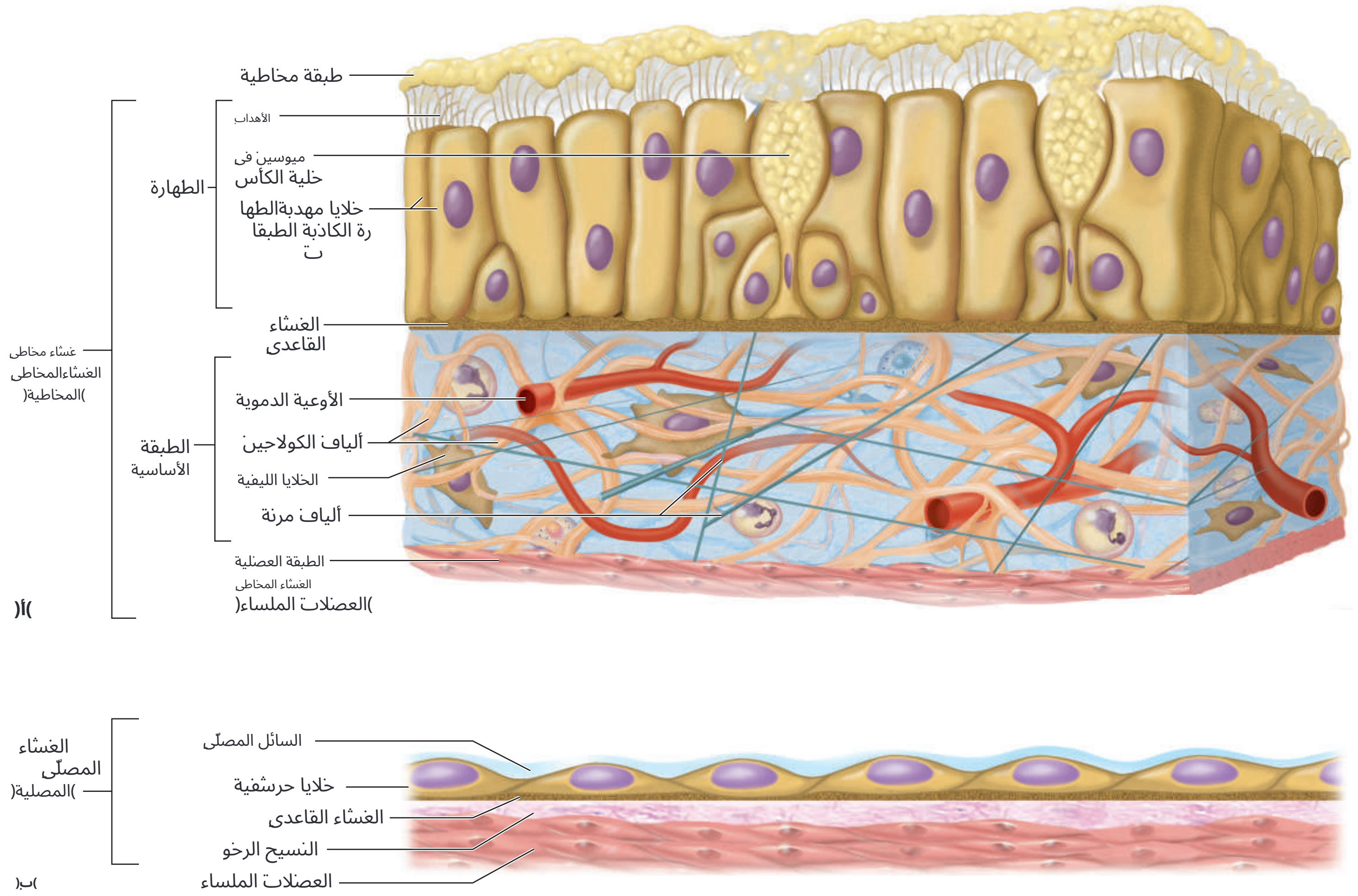


الشكل 5.31 بعض أنواع الغدد الخارجية الإفراز.)أ(غدة أنبوبية ملتفة بسيطة مثل غدة العرق.)ب(غدة أكينية مركبة مثل الغدة الثديية.)ح(غدة أنبوبية أكينية مركبة مثل البنكرياس. هذه أمثلة قليلة فقط من حوالى 10 أنواع من بنية الغدد.

توقع وارسم مطهر غدة أكينية بسيطة.



الشكل 5.32 الأنماط الثلاثة للإفراز الخارجى.)أ(إفراز إكرينى فى خلية من الغدة الثديية، تفرز سكر الحليب)اللاكتوز(والبروتينات)الكازين، اللاكتالبومين(ع
ن طريق الإخراج الخلوى.)ب(إفراز أبكرينى للدهون بواسطة خلية من الغدة الثديية. تتجمع قطرات الدهون فى السيتوسول، ثم تنفصل من سطح الخل
ية مع طبقة رقيقة من السيتوبلازم وغشاء البلازما.)ح(إفراز هولكرينى بواسطة غدة دهنية)زيتية(فى فروة الرأس. فى هذه الطريقة، تتحلل خلايا الغدة بالكا
مل وتصبح الإفراز)الزهم(.



الشكل 5.33 علم الأنسجة للأغشية المخاطية والمصلية.)أ(غشاء مخاطي مثل البطانة الداخلية للقصبة الهوائية.
)ب(غشاء مصلي مثل السطح الخارجي للأمعاء الدقيقة.

تغطي غشاء يسمى *الطبقة الداخلية* للأوعية الدموية و *البطانة الداخلية للقلب*.
تتكون الأغشية السابقة من نوعين إلى ثلاثة أنواع من الأنسجة. بالمقابل، بعض الأغشية التي تتكون فقط من نسيج ضام تشمل *الأم الجافية* حول الدماغ، و *الأغشية الزليلية* التي تغلف مفاصل الجهاز الهيكلي، و *السمحاق* الذي يغطي كل عظم. بعض الأغشية التي تتكون فقط من الطهارة تشمل الأسطح الأمامية للعدسة والقرنية في العين. جميع هذه موصوفة في الفصول اللاحقة.

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك
للقسم السابق:

19. قارن بين بنية الوصلات المحكمة والوصلات الفجوية. اربط بين اختلافات بنيتها والاختلافات الوظيفية لها.

20. ميز بين الغدة البسيطة والغدة المركبة، واذكر مثالاً لكل منهما. ميز بين الغدة الأنبوبية والغدة الحويصلية، واذكر مثالاً لكل منهما.

21. قارن بين طرق الإفراز الإكرينية، الأبوكرينية، والهولكرينية، واذكر منتج غدي يتم إنتاجه بواسطة كل طريقة.

22. صف الفروقات بين الغشاء المخاطي والغشاء المصلي.

23. اذكر طبقات الغشاء المخاطي، وحدد أي من الفئات الأربعة الأساسية للأنسجة يشكل كل طبقة.

5.6 نمو الأنسجة، التطور، الإصلاح، والانحلال

الأهداف التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

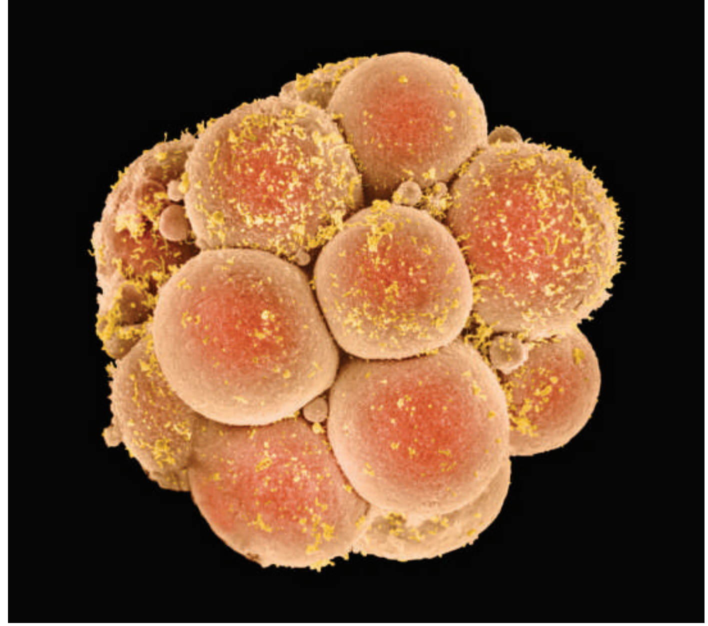
أ. اذكر ووصِف أنماط نمو الأنسجة؛

ب. عرّف الخلايا الجذعية البالغة و الخلايا الجذعية الجنينية ودرجات اللدونة التنموية المتنوعة الخاصة بهما؛

ج. اذكر ووصِف الطرق التي يمكن للأنسجة أن تتغير من نوع إلى آخر؛

د. اذكر ووصِف أنماط وأسباب انكماش الأنسجة وموتها؛ و

هـ. اذكر ووصِف الطرق التي يصلح بها الجسم الأنسجة التالفة.



الشكل ٤٣.٥ مرحلة المورولا فى التطور البشرى. تتكون هذه المرحلة من حوا
لى ٦١ إلى ٢٣ خلية جذعية كلية القدرة ذات مرونة تطويرية غير محدودة.

الدكتور يورغوس نيكس/مكتبة صور العلوم/Getty Images

)الشكل 5.34(. فى المراحل المبكرة من التطور، تُسمى خلايا جذعية م
تعددة القدرات)totipotent stem cells(لأنها تمتلك القدرة على الت
طور إلى أى نوع من الخلايا البشرية المتمايزة بالكامل — ليس فقط خلا
يا الجسم فى المراحل الجنينية المتأخرة أو الجنينية أو البالغة، بل أيضًا
خلايا الهياكل المؤقتة للحمل، مثل المشيمة والكيس الأمنيوسى. تعد ا
لقدرة المتعددة)Totipotency(هى اللدونة التنموية غير المحدودة.
حوالى ٤ أيام بعد الإخصاب، يدخل الجنين النامى مرحلة المرحلة الكى
سة الأريمية. الكيسة الأريمية هى كرة مجوفة تحتوى على كتلة خلوية
خارجية تساعد فى تكوين المشيمة وغيرها من الأعضاء الملحقة للحم
ل، و كتلة خلوية داخلية)الجنين الداخلى(التى تصبح الجنين نفسه)ان
طر الشكل ٤.٩٢(. تُسمى خلايا الكتلة الخلوية الداخلية خلايا جذعية م
تعددة القدرات؛ يمكنها أن تتطور إلى أى نوع من خلايا الجنين، ولكن
ليس إلى الأعضاء الملحقة للحمل. وبالتالى فإن المرونة التطويرية لها
محدودة إلى حد ما بالفعل.
الخلايا الجذعية البالغة)ASCs(توجد بأعداد قليلة فى الأعضاء وا
لأنسجة الناضجة طوال حياة الإنسان. لا يعنى الاسم \أنها مقتصرة عل
ى الأشخاص البالغين؛ فهى موجودة طوال معظم الحياة من الجنين و
حتى الشيخوخة. عادةً ما تنقسم الخلية الجذعية البالغة انقسامًا ميتوز
يًا؛ تبقى إحدى خلاياها الابنة خلية جذعية بينما تتمايز الأخرى إلى خلية
 متخصصة ناضجة. قد تحل هذه الخلية محل خلية أخرى قديمة ومات
ت، أو تساهم فى نمو الأعضاء النامية)كما فى الطفل(، أو تساعد فى إ
صلاح الأنسجة التالفة. بعض الخلايا الجذعية البالغة متعددة القدرات
— قادرة على التطور إلى خطين خلويين مختلفين أو أكثر، ولكن ليس
إلى أى نوع من خلايا الجسم. على سبيل المثال، بعض خلايا نخاع الع
ظم متعددة القدرات يمكن أن تنتج خلايا الدم الحمراء، وخمسة أنواع م
ن خلايا الدم البيضاء، وخلايا منتجة للصفائح الدموية. الخلايا الجذعية
أحادية القدرة لها أقل مرونة، حيث يمكنها إنتاج نوع واحد فقط من الخ
لايا الناضجة. من الأمثلة على ذلك الخلايا التى تعطى النطاف، والبوى
ضات، وخلايا الكيراتينوسايت)النوع السائد من خلايا البشرة(.

5.6أ نمو الأنسجة

تنمو الأنسجة لأن خلاياها تزداد فى العدد أو الحجم.
يحدث معظم النمو الجنينى وطفولى عن طريق فرط التنسج (-HY ٨٣
pur-PLAY-zhuh)—نمو الأنسجة من خلال تكاثر الخلايا.
ومع ذلك، تنمو العضلات الهيكلية والأنسجة الدهنية عن طريق فرط ا
لتضخم ٩٣)hy-PUR-truh-fee(—تكبير الخلايا الموجودة م
سبقًا. حتى الشخص البالغ العضلى جدًا أو البدين لديه فى الأساس ن
فس عدد ألياف العضلات أو الخلايا الدهنية التى كان يمتلكها فى مرح
لة المراهقة المتأخرة، لكن قد تكون الخلايا أكبر بشكل ملحوظ. الأورام
الجديدة ٠٤)NEE-oh-PLAY-zhuh(هى تطور ورم *(neo-plasm)*
—سواء كان حميدًا أو خبيثًا—مكون من نسيج غير طبيعى وغير وظي
فى.

5.6ب تطور الأنسجة

لقد درست شكل ووظيفة أكثر من عشرين نوعًا منفصلًا من الأنسجة ا
لبشرية فى هذا الفصل. ومع ذلك، لا ينبغى أن تغادر هذا الموضوع مع
 الانطباع بأن هذه الأنواع من الأنسجة، بمجرد تأسيسها، لا تتغير أبدًا.
فالأنسجة، فى الواقع، قادرة على التحول من نوع إلى آخر ضمن حدود
معينة.
من الواضح أن الأنسجة غير المتخصصة فى الجنين تتطور إلى أنواع أ
كثر تنوعًا وتخصصًا من الأنسجة الناضجة — مثل النسيج المتوسط)ا
لمسنشيم(إلى الغضروف والعظم، على سبيل المثال. يُطلق على هذا
 التطور لشكل ووظيفة أكثر تخصصًا اسم التمايز.
بعض الأنسجة يمكن أن تخضع لعملية التحول النسيجى)الميتا
بلازيا(، وهى تغير من نوع نسيج ناضج إلى آخر. على سبيل المثال، الم
هبل عند الفتاة قبل البلوغ مبطن بطبقة طلائية مكعبة بسيطة. عند ال
بلوغ، يتحول إلى طبقة طلائية حرشفية متعددة الطبقات، وهى أكثر ت
كيفًا مع متطلبات الجماع والولادة المستقبلية. العظام الطويلة عند ال
طفل مملوءة بنخاع العظم الأحمر المنتج للدم، ولكن بحلول مرحلة ال
بلوغ، يتحول معظم هذا إلى نسيج دهنى.
فى المدخنين، قد يتحول الظلاء الطلائى العمودى الكاذب متعدد الطبقات
 فى الشعب الهوائية إلى طبقة طلائية حرشفية متعددة الطبقات.

طبق ما تعرفه

ما هى الوظائف التى يؤديها الطلاء الطلائى العمودى الكاذب المهد
ب والتى لا يمكن أن يؤديها الطلاء الطلائى الحرشفى متعدد الطبقا
ت؟ وبالنظر إلى ذلك، ما هى بعض العواقب المحتملة لعملية التح
ول النسيجى فى الشعب الهوائية لدى المدخنين الشديدين؟

5.6ج الخلايا الجذعية

يعتمد نمو وتمايز الأنسجة على توفر مخزون من الخلايا الجذعية. هذه
 خلايا غير متمايزة لم تبدأ بعد فى أداء أى وظيفة متخصصة، لكنها تم
تلك القدرة على التمايز إلى نوع أو أكثر من الخلايا الوظيفية الناضجة،
مثل خلايا الكبد أو الدماغ أو الغضروف أو الجلد. تمتلك هذه الخلايا در
جات مختلفة من اللدونة التطويرية، أو التنوع فى أنواع الخلايا الناضجة
 التى يمكن أن تنشأ منها.

هناك نوعان من الخلايا الجذعية: الجذعية الجنينية والجذعية البالغة.
تشكل الخلايا الجذعية الجنينية)ESCs(الجنين البشرى المبكر.

٨٣ *hyper*= مفرط؛ *plas* = نمو
٩٣ *hyper*= مفرط؛ *trophy*= تغذية
٠٤ *neo* = جديد؛ *plas* = شكل، نمو
١٤ *meta*= تغيير؛ *plas* = شكل، نمو



نظرة أعمق 5.3

التطبيق السريرى

العلاج بالخلايا الجذعية

ينظر علماء الأحياء الخلوية والأطباء والمرضى المتفائلون إلى الخلايا الجذعية كعلاج محتمل للأمراض الناجمة عن فقدان الأنسجة الوظيفية.

سيكون من المثالى إذا كان بالإمكان استخدام الخلايا الجذعية البالغة لاستعادة الأ نسجة المفقودة، ولكن إمكاناتها التطورية محدودة جدًا بحيث لا تكون ذات فائدة كبيرة فى الاستخدام السريرى. بالإضافة إلى ذلك، فهى موجودة بأعداد قليلة جدًا و من الصعب استخراجها من الأنسجة وزراعتها بالكميات اللازمة للعلاج.

من حيث المبدأ، يمكن للخلايا الجذعية الجنينية (ESCs)، بفضل مرونتها التطو رية الأكبر، أن تتغلب على هذه العيوب. تُستخرج الخلايا الجذعية الجنينية من الأج نة الفائضة التى تحتوى على حوالى 16 إلى 32 خلية (الشكل 5.34) والتى تُنتج بوا سطة التلقيح الصناعى (IVF) فى العيادات، مما يجعلها تُستخدم بشكل جيد بدلاً م ن الممارسة المعتادة فى التخلص منها. لا يزال هذا الموضوع مثيرًا للجدل، لكن تم تخفيف حدة الجدل إلى حد ما. فى عام 2006، نجح عالم الخلايا اليابانى شينيا ياماناكا فى تطوير تقنية لتحفيز الخلايا الجذعية البالغة على الرجوع إلى الوراء فى م سارها التطورى لتصبح متعددة القدرات مرة أخرى.

سمى الخلايا الناتجة بالخلايا الجذعية متعددة القدرات المحفزة (iPSCs). فى أكثر ا لسيناريوهات تفاؤلاً، قد يتم تحفيز الخلايا الجذعية المأخوذة من جلد أو نخاع عظم الشخص لـ "العودة" والسير فى مسارات تطورية جديدة لإنتاج خلايا من أى نوع مر غوب—قلبى، عصبى، شبكى، بنكرياسى، أسنانى، أو غيرها. لقد فتح هذا الباب أما م آمال تجديد العديد من أنواع الأنسجة المرغوبة من الخلايا الجذعية البالغة دون ا لقضايا الأخلاقية والسياسية المرتبطة باستخدام الخلايا الجنينية.

اعتبارًا من عام 2020، اعترفت منظمة الصحة العالمية بوجود 3000 تجربة سر يرية مسجلة للخلايا الجذعية جارية فى جميع أنحاء العالم. بعض الأمراض التى تح ظى بأكبر قدر من الاهتمام هى مرض باركنسون، التصلب المتعدد، التصلب الجا نبى الضمورى، إصابة الحبل الشوكى، التنكس البقعى

الانحلال، داء السكرى، وأمراض الأسنان والفم الأخرى.

لسوء الحظ، إنتاج الخلايا الجذعية المحفزة متعددة القدرات (iPSCs) هو عملية بط يئة، مملة، مكلفة، وبمعدل نجاح منخفض. لا تزال هناك تساؤلات حول ما إذا كان ت الخلايا الجذعية المزروعة قد تستقر فى مكان خاطئ فى الجسم أو تنمو إلى أورا م بدلاً من أنسجة صحية ووظيفية. لا يزال أمام العلم طريق طويل لجعل علاج الخلا يا الجذعية فعالاً، آمناً، كفؤاً، ومتاحاً بأسعار معقولة للمرضى.

لقد أثبتت الخلايا الجذعية قيمتها كـ "خيول عمل" فى أبحاث المختبرات حول آليات المرض، وفحص السمية، واختبار الأدوية. حتى الآن، العلاجات الوحيدة التى ثبت أمانها وفعاليتها، والتى وافقت عليها إدارة الغذاء والدواء الأمريكية (FDA)، ه ى العلاجات باستخدام نخاع العظم ودم الحبل السرى لبعض أنواع اللوكيميا وأمرا ض الدم والجهاز المناعى الأخرى. عادةً، يستغرق الانتقال من اكتشاف طبى إلى الا ستخدام السريرى حوالى 20 عاماً، وقد لا يكون علاج الخلايا الجذعية استثناءً. قد ن نتظر طويلاً لنرى ما إذا كانت تقنية الخلايا الجذعية ستؤدى إلى تطبيقات أوسع.

فى الوقت نفسه، للأسف، ظهرت "عيادات" مزيفة لعلاج الخلايا الجذعية حول العالم تفرض على الأشخاص الضعفاء عشرات الآلاف من الدولارات (نقداً غير قا بل للاسترداد، بالطبع) مقابل علاجات عديمة القيمة وحتى مهددة للحياة. ظهرت تقارير كهذه بسبب تعرض مريض للعمى نتيجة حقن مزعومة بالخلايا الجذعية فى العينين، ولأن الخلايا الجذعية المحقونة فى مريض آخر تطورت إلى ورم فى العمود الفقرى. تحاول إدارة الغذاء والدواء الأمريكية (FDA) التصدى للعلاجات غير القانو نية فى الولايات المتحدة، لكن العديد من المرضى الضعفاء لا يزالون ضحايا لمزود ى خدمات غير شرعيين ليس فقط هناك، بل فى المكسيك، وأمريكا الجنوبية، وا لهند، وشرق آسيا، وأماكن أخرى.

كلا من الخلايا الجذعية الجنينية والبالغة لديها إمكانات هائلة للعلاج، لكن التقدم فى هذا المجال قد تباطأ بسبب الصعوبات التقنية والجدل حول استخدام الخلايا الجنينية (انظر التعمق 5.3).

5.6د إصلاح الأنسجة

يمكن إصلاح الأنسجة التالفة بطريقتين: *التجدد أو التليف* . التجدد هو استبدال الخلايا الميتة أو التالفة بنفس نوع الخلايا كما كان من ق بل؛ حيث يعيد الوظيفة الطبيعية للعضو. تلتئم معظم إصابات الجلد (الجروح، الخدوش، والحروق الطفيفة) عن طريق التجدد. كما أن الكبد يتجدد بشكل ملحوظ. التليف هو استبدال الأنسجة التالفة بنسيج ند بى، يتكون بشكل رئيسى من الكولاجين الذى تنتجه الأرومات الليفية. يساعد النسيج الندبى فى تثبيت العضو معًا، لكنه لا يعيد الوظيفة ال طبيعية. من الأمثلة على ذلك التئام الجروح والحروق الشديدة، التئام إ صابات العضلات، وتندب الرئتين فى مرض السل.

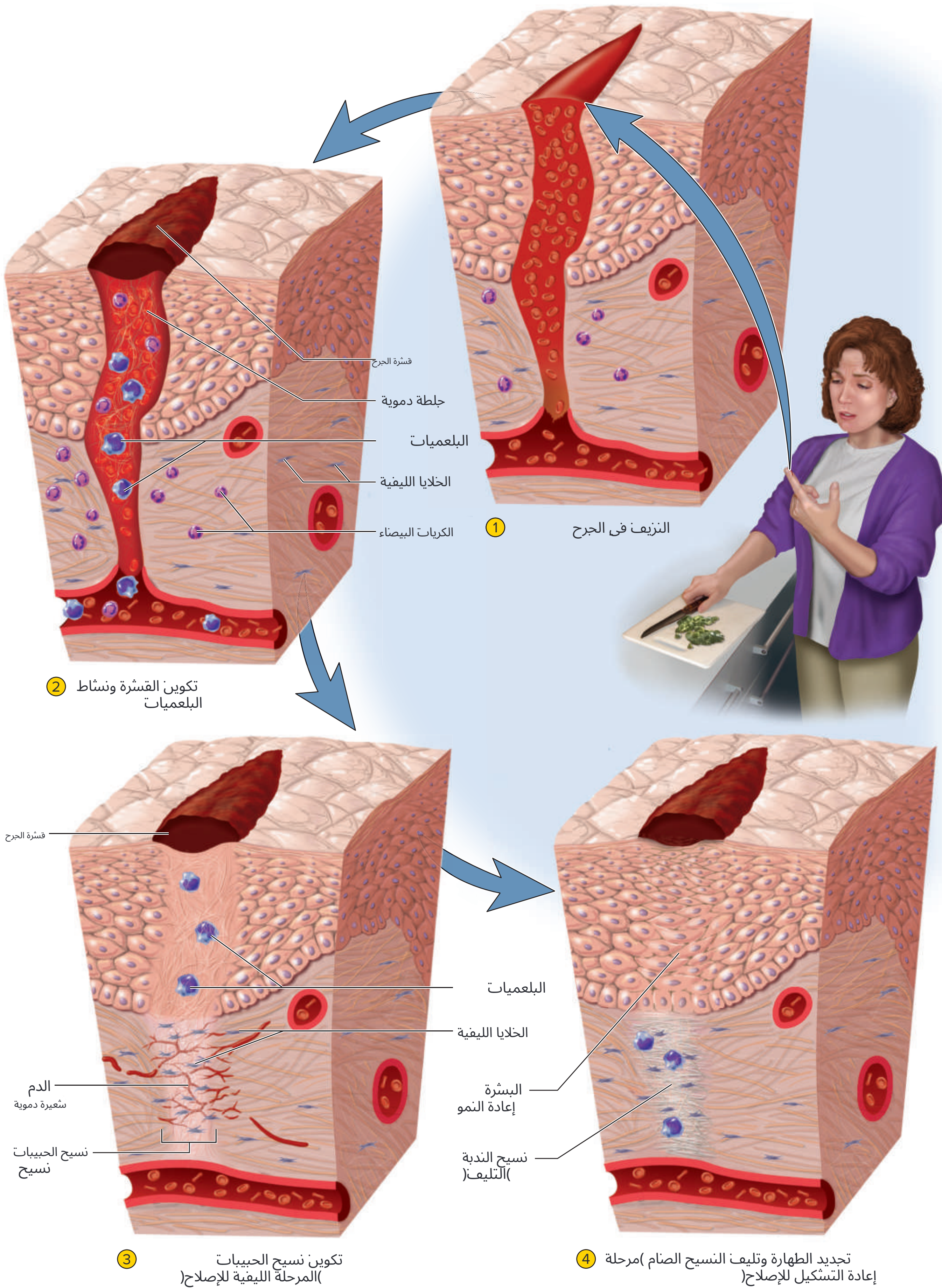
الشكل 5.35 يوضح المراحل التالية فى شفاء جرح فى الجلد، حيث يشارك كل من التجدد والتليف:

1. الأوعية الدموية المقطوعة تنزف فى الجرح. تقوم الخلايا البدينة وا لخلايا المتضررة من الجرح بإفراز الهيستامين، الذى يوسع الأو عية الدموية، ويزيد تدفق الدم إلى المنطقة، ويجعل الشعيرات الدموية أكثر نفاذية. يتسرب بلازما الدم إلى الجرح، حاملة الأ جسام المضادة وبروتينات التجلط.

2. يتكون جلطة دموية فى النسيج، تربط حواف الجرح بشكل غير م حكم وتمنع انتشار الممرضات من موقع الإصابة إلى الأنسجة ا لسليمة. يجف سطح الجلطة الدموية ويتصلب فى الهواء، مكونًا قشرة تغلق الجرح مؤقتًا وتمنع العدوى. تحت القشرة، تبدأ الخلا يا البلعمية الكبيرة فى ابتلاع وهضم حطام النسيج.

3. تنمو شعيرات دموية جديدة من الأوعية القريبة وتتجه إلى داخل الجرح. تخترق الشعيرات الدموية والأرومات الليفية الأجزاء العميقة من الجلطة وتتحول إلى كتلة ناعمة تسمى نسيج الح بيبات. تقوم الخلايا البلعمية الكبيرة بإزالة الجلطة الدموية بينما تودع الأرومات الليفية كولاجينًا جديدًا ليحل محلها. تبدأ هذ ه *المرحلة الأرومات الليفية (إعادة البناء)* من الإصلاح بعد 3 إل ى 4 أيام من الإصابة وتستمر حتى أسبوعين.

4. تتكاثر خلايا الطهارة السطحية حول الجرح وتهاجر إلى المنطقة المصابة تحت القشرة. تتراخى القشرة وفى النهاية تسقط، وينمو الطهارة لتصبح أكثر سمكًا. وهكذا، تتجدد الطهارة بينما يخضع النسيج الضام الأساسى لـ *التليف*، أو التندب. تنسحب الشعيرات الدموية من المنطقة مع تقدم التليف. قد يظهر نسيج الندبة أو لا يظهر من خلال الطهارة، اعتمادًا على شدة الجرح. قد يظهر الجرح فى البداية منطقة عائرة، لكن غالبًا ما يتم ملؤها بالتليف المستمر وإعادة التشكيل من الأسفل، حتى تصبح الندبة غير ملحوظة. تبدأ هذه *مرحلة إعادة التشكيل (النضج)* لإصلاح الأنسجة بعد عدة أسابيع من الإصابة وقد تستمر لمدة تصل إلى سنتين.



الشكل 5.35 مراحل شفاء جرح الجلد.

الغرغرينا الجافة غالبًا ما تحدث لدى مرضى السكري، خاصة في القدم ين. وتتميز بجلد جاف ومنكمش مع تغير لون أزرق بنفسجي أو بني أو أسود)الشكل 5.36(.
فقدان الإحساس الناتج عن تلف الأعصاب السكري يمكن أن يجعل ا لشخص غير مدرك للإصابة والعدوى، وتدفق الدم الضعيف بسبب ت لف الشرايين السكري يؤدي إلى بطء الشفاء وانتشار العدوى بسرعة. غالبًا ما يستلزم ذلك بتر أصابع القدم أو القدمين أو الساقين. قرحة ال فراش)قرحة الضغط(هي شكل من أشكال الغرغرينا الجافة التي تحد ث عندما يكون الأشخاص المقيدون، مثل أولئك المحتجزين في سرير المستشفى أو الكرسي المتحرك، غير قادرين على الحركة، ويؤدي ال ضغط المستمر على الجلد إلى قطع تدفق الدم إلى المنطقة. تحدث قر ح الضغط غالبًا في الأماكن التي يكون فيها العظم قريبًا من سطح الج سم، مثل الوركين، منطقة العجز، والكاحلين. هنا، تكون طبقة الجلد وا لأنسجة الضامة الرقيقة عرضة بشكل خاص للضغط بين العظم والسر ير أو الكرسي المتحرك.

الغرغرينا الرطبة تحدث عادة في الأعضاء الداخلية وتشمل غزو الع دلات، تسييل النسيج، ووجود صديد، ورائحة كريهة.
يمكن أن تنتج عن التهاب الزائدة الدودية أو انسداد القولون، على سبيل المثال.
الغرغرينا الغازية هي نخر في الجرح ناتج عن عدوى ببكتيريا معينة من جنس *Clostridium,* عادة ما تدخل عندما يتلوث الجرح بالتربة. يُسمى هذا الاضطراب بسبب فقاعات الغاز)معظمها هيدروجين(التي تتجم ع في الأنسجة. هذه حالة مميتة تتطلب تدخلًا فوريًا، غالبًا ما يشمل ا لبتر.

الخلايا التي تموت بالنخر عادة ما تنتفخ، وتظهر *تكوّن الفقاعات*) تكوّن الفقاعات(في أغشية البلازما الخاصة بها، ثم تتمزق. تؤدي الموا د الخلوية التي تُطلق في الأنسجة إلى تحفيز استجابة التهابية حيث ت قوم البلاعم بابتلاع الحطام الخلوي.
الاستماتة[44])الاستماتة(، أو موت الخلايا المبرمج، هو غالبًا موت طبيعي للخلايا التي أكملت وظيفتها وتخدم الجسم بشكل أفضل بالم وت والانصراف من الطريق.
يمكن تحفيز الخلايا على الخضوع للموت المبرمج)الاستماتة(في بع ض الحالات المرضية. تنكمش الخلايا التي تخضع للموت المبرمج وي تم ابتلاعها بسرعة بواسطة البلاعم وخلايا أخرى. لا تخرج محتويات الخ لية أبدًا، لذلك لا يحدث استجابة التهابية.
على الرغم من أن مليارات الخلايا تموت كل ساعة عن طريق الموت المبرمج)الا ستماتة(، إلا أنها تُبتلع بسرعة كبيرة بحيث لا تُرى تقريبًا إلا داخل الخلايا البلعمية)ا لماكروفاجات(.
يبدو أن كل خلية تقريبًا تحتوي على "برنامج انتحار" مدمج يمكّن ا لجسم من التخلص منها عند الضرورة. في بعض الحالات، يرتبط إشار ة انتحار خارج الخلية ببروتين مستقبل في غشاء البلازما، والذي ينشط بعد ذلك إنزيمات تقوم بتحليل الحمض النووي والبروتينات الخاصة بالخلية. في حالات أخرى، يبدو أن الخلايا تخضع للموت المبرمج تلقا ئيًا إذا توقفت عن استقبال عوامل النمو من خلايا أخرى. على سبيل ا لمثال، في التطور الجنيني تنتج حوالي ضعف عدد الخلايا العصبية ال تي نحتاجها. تلك التي تُكوّن اتصالات مع الخلايا المستهدفة تبقى على قيد الحياة، بينما تموت الخلايا العصبية الزائدة بسبب نقص عامل نم و الأعصاب. كما يقوم الموت المبرمج بإذابة الغشاء بين الأصابع أثناء ا لتطور الجنيني؛ ويحرر شحمة الأذن من جانب الرأس لدى الأشخاص ا لذين يحملون النمط الجيني لشحمة الأذن المنفصلة؛ ويسبب انكما ش الثديين بعد توقف الرضاعة.



الشكل 5.36 الغرغرينا الجافة للقدم الناجمة عن داء السكري.

ويليام ارتشيبالد / مراكز السيطرة على الأمراض والوقاية منها)CDC(

5.6e تنكس الأنسجة والموت

الضمور[42])الضمور(هو انكماش النسيج نتيجة فقدان في حجم الخلايا أو عددها. يحدث نتيجة لكل من الشيخوخة الطبيعية)*الضمور الشيخوخي*(وعدم استخدام عضو)*الضمور الناتج عن عدم الاستخدام*(. العضلات ال تي لا تُمارس تظهر ضمورًا ناتجًا عن عدم الاستخدام حيث تصبح خلاياها أصغر. كان هذا مشكلة خطيرة لأول رواد الفضاء الذين شاركوا في رحلا ت فضائية طويلة في حالة انعدام الجاذبية. عند العودة إلى الجاذبية الط بيعية، كانوا أحيانًا ضعفاء جدًا بسبب ضمور العضلات لدرجة أنهم لم ي ستطيعوا المشي. الآن تشمل محطات الفضاء والمكوكات معدات تمار ين للحفاظ على حالة العضلات لدى الطاقم. يحدث ضمور عدم الاستخدا م أيضًا عندما يتم تثبيت طرف في جبيرة أو بسبب الشلل، أو عندما يكو ن الشخص مقيدًا بالفراش أو الكرسي المتحرك بسبب مرض أو إعاقة.

الغرغرينا[43])النخر(هو موت نسيجي مرضي ناتج عن الصدمة، ال سموم، العدوى، وما إلى ذلك؛ الاحتشاء والغرغرينا هما نوعان من النخ ر. الاحتشاء هو موت مفاجئ للنسيج، مثل عضلة القلب)*احتشاء ع ضلة القلب*(أو نسيج الدماغ)*احتشاء الدماغ*(، يحدث عندما ينقطع إم داد الدم عنه. الغرغرينا هي نخر نسيجي ناتج عن العدوى أو انسداد إم داد الدم.

42 *a* = بدون؛ *trophy* = تغذية
43 *necr* = موت؛ *osis* = عملية

44 *apo* = بعيد؛ *ptosis* = سقوط

26. ميز بين الضمور، النخر، والبرمجة الخلوية للموت)الاستماتة(، ووصف طرف قد يحدث فيه كل من هذه الأشكال لفقدان الأنسجة.

27. ميز بين التجدد والتليف. أى عملية تستعيد الوظيفة الخلوية الطبيعية؟ ما فائدة العملية الأخرى إذا لم تستعد الوظيفة؟

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

24. تمييز بين التمايز والتغير التحولى.

٥٢. يمكن للأنسجة أن تنمو من خلال زيادة حجم الخلية أو عدد الخلايا. ما هى المصطلحات الخاصة بهذين النوعين من النمو؟



نظرة أعمق 5.4

التطبيق السريرى

الطب التجديدى

مع تقدم العمر السكانى وتطور العلم فى المعرفة والمهارات التقنية، يتطلع الناس إلى المجتمع الطبى بأمل إصلاح أو استبدال أجزاء الجسم التالفة أو المفقودة أو المعيبة منذ الولادة أو المتآكلة بسبب العمر. هل من الممكن إصلاح أنسجة الدماغ أو القلب؛ أو الأنف، الأذن، أو الإصبع؛ أو حتى أجزاء أكبر من الجسم فقدت بسبب الإصابة؟ علم الطب التجديدى، الذى لا يزال فى مراحله الأولى، يسعى لتحقيق ذلك بالضبط.

أحد أساليبه هو هندسة الأنسجة—زراعة الأنسجة والأعضاء فى المختبر، ويفضل أن تكون من خلايا المريض نفسه، وزرعها فى الجسم. لإنتاج شيء مثل وعاء دموى أو القصبة الهوائية، يبدأ مهندسو الأنسجة بعضو من جسم متبرع ويقومون بإزالة الخلايا منه—أى تجريد العضو من جميع الخلايا الحية، تاركين فقط الإطار النسيجى الضام الكولاجينى، أو السقالة. مع الحفاظ على شكل وخصائص العضو الميكانيكية المراد استبداله، فإن هذه السقالة الخالية من الخلايا تقلل من احتمال رفض الجهاز المناعى للمريض لها. ثم تُزرع خلايا من جسم المريض عليها، مثل الخلايا الغضروفية)كروندروسيتس(، الخلايا الليفية)فيبروبلاستس(، أو الخلايا الكيراتينية)كيراتينوسيتس(. يُحفظ المنتج فى حاضنة تُسمى المفاعل الحيوى، التى توفر المغذيات والأكسجين وعوامل النمو بينما تعيد الخلايا استعمار السقالة. تستخدم بعض العلاجات سقالات بوليمرية صناعية وحتى أعضاء صناعية تُنتج بواسطة طابعات حيوية ثلاثية الأبعاد. واحدة من أصعب المشكلات فى زراعة الأعضاء الصناعية هى إنتاج الإمداد الدموى الدقيق اللازم للحفاظ على عضو مثل الكبد.وأخرى هى تحفيز نمو الأعصاب اللازم للتحكم فى عضو هندسى حيوياً مثل المثانة البولية. بدون ذلك، قد "ينجح" المرء فقط فى منح المريض عضواً غير وظيفى.

نجحت هندسة الأنسجة فى المختبر فى إنتاج الكبد، العظم، الغضروف، الحالب، الأوتار، الأوعية الدموية، الأمعاء، جزر البنكرياس التى تفرز الأنسولين، نسيج الثدى، وحتى قلب قارض ينبض. الترجمة من "المختبر إلى السرير" إلى العيادة والمرضى الحقيقيين هى مسألة أكثر صعوبة. ومع ذلك، تشمل النجاحات المبكرة إعادة بناء الأنف والوجه، الجلد المهندَس لتغطية الحروق وقروح قدم السكرى، إصلاح غضاريف الركبة التالفة، وحتى المثانات البولية المزروعة من خلايا المرضى أنفسهم والمزروعة فى أجسامهم.

تجرى حالياً تجارب قبل سريرية على إنتاج أوعية دموية هندسية حيوياً لجراحة تحويل مسار الشريان التاجى، وتشمل الآمال للتطوير المستقبلى صمامات القلب وقطع من عضلة القلب.

فى نهج مبتكر آخر لهندسة الأنسجة، بنى العلماء أجهزة دقيقة صغيرة تُسمى الأعضاء على رقاقة، أو رقائق الأعضاء، التى تدمج خلايا بشرية على غشاء يحاكى البيئة خارج الخلية. أنتجت هذه التقنية أعضاء نموذجية بحجم عصى ذاكرة الكمبيوتر مع البنى الدقيقة والوظائف للقلوب، الرئتين، الأمعاء، الكلى، الجلد، نخاع العظم، والدماغ. تسرع تقنية رقائق الأعضاء المسار الطويل غالباً لتطوير الأدوية واختبارها، وهى بديل لاختبار الحيوانات، مما يقلل الحاجة إلى الحيوانات المستخدمة فى البحث، وكذلك هدر الوقت والموارد على نتائج اختبارات حيوانية لا تنتقل إلى الأنسجة البشرية. كما توفر هذه التقنية إمكانية اختبار الأدوية والعلاجات على خلايا المريض نفسه لتخصيص العلاج.

دليل الدراسة

قيّم نتائج تعلمك

لاختبار معرفتك، ناقش المواضيع التالية مع شريك دراسة أو كتابةً، ويفضل من الذاكرة.

١.٥ دراسة الأنسجة

1. اسمان للفرع البيولوجى المعنى ببنية الأنسجة
2. الفئات الأربعة الأساسية للأنسجة التى تشكل الجسم
3. أدوار الخلايا والمصفوفة والألياف والمادة الأساسية فى تركيب الأنسجة، وكيف ترتبط هذه المصطلحات ببعضها البعض
4. الطبقات الجرثومية الأولية للجنين وعلاقتها بالأنسجة الناضجة
5. كيف ولماذا تُحضّر الأنسجة كشرائح هيستولوجية ملونة؛ الطائرات الثلاثة الشائعة للشرائح؛ وبعض الطرق الأخرى التى تُحضّر بها الأنسجة غير التقطيع

٢.٥ النسيج الطلائى

1. الخصائص التى تميز الطلاء الطهارى عن الفئات الثلاث الأخرى من الأنسجة الأساسية
2. وظائف الغشاء القاعدى وعلاقته بالطهارة
3. الخصائص المحددة للطهارة البسيطة

دراسة دليل

4. أربعة أنواع من الطهارة البسيطة ومطهرها ، وظائفها، والمواقع النموذجية لكل منها
5. الخصائص المحددة للطهارة الطبقية
6. أربعة أنواع من الطهارة الطبقية ومطهرها، و طائفها، والمواقع النموذجية لكل منها
7. الفروق بين الطهارة الحرشفية الطبقية المتقرنة وغير المتقرنة، بما فى ذلك الاختلافات فى علم الأنسجة، المواقع، والوظائف
8. الخاصية الواقية الخاصة وآلية عمل ا لطهارة البولية
9. تقشر الطهارة وأهميته السريرية

5.3 النسيج الضام

1. الخصائص التى تميز النسيج الضام عن الفئا ت الثلاث الأخرى من الأنسجة الأساسية
2. وظائف الأنسجة الضامة
3. أنواع الخلايا الموجودة فى النسيج الضام الليفى، ووظائف كل منها
4. أنواع الألياف الموجودة فى النسيج الضام الليف ى، وتركيبها، ووظائف كل منها
5. تركيب وتنوعات المادة الأساسية فى النسيج ا لضام الليفى
6. المطهر، الوظائف، والمواقع للنسيج الضام الأر ولى، الشبكى، الكثيف غير المنتظم، والكثيف المنتظم
7. المطهر، الوظائف، والمواقع للنسيج الدهن ى، بما فى ذلك الفروقات بين النسيج الدهن ى الأبيض والبنى
8. الخصائص المميزة للغضروف كفئة؛ الأنو اع الثلاثة من الغضروف وكيف تختلف فى علم الأنسجة، الوظيفة، والموقع؛ الع لاقة بين الغشاء المحيط بالغضروف (البركوندريوم) والغضروف؛ وأماكن غياب البركوندريوم
9. الخصائص المميزة للنسيج العظمى كفئة؛ ال تمييز بين العظم الإسفنجى والعظم المضغو ط؛ والعلاقة بين الغشاء المحيط بالعظم (ال بريوستيم) والعظم
10. مطهر المقاطع العرضية للعظم المضغوط
11. لماذا يُصنف الدم كنسيج ضام؛ المصطا لح المستخدم لمصفوفته؛ والفئات الرئيسية ل لعناصر المشكلة فى الدم

5.4 الأنسجة العصبية والعضلية—الأنسجة القابلة للإثارة

1. لماذا تُسمى الأنسجة العصبية والعضلية *الأنسجة القابلة للإثارة* رغم أن الإثارة هى خاصية لكل الخلايا الحية
2. النوعان الأساسيان من الخلايا فى النسي ج العصبى والاختلافات الوظيفية بينهما
3. التركيب العام للعصبونات
4. الخصائص المميزة للنسيج العضلى كفئة
5. ثلاثة أنواع من العضلات وكيف تختلف فى علم الأنسجة، الوظيفة، والموقع

5.5 الوصلات الخلوية، الغدد، والأغشية

1. الوظيفة العامة للوصلات الخلوية
2. الاختلافات فى بنية ووظيفة الوصلات ال ضيقة، الديسموسومات، الهيميديسموسومات، والوصلات الفجوية
3. تعريف الغدة والوظيفتان الأساسيتان للغدد
4. التمييزات التطورية، الهيكلية، و الوظيفية بين الغدد الخارجية والداخلية؛ أمثلة على كل منهما؛ ولماذا لا يمكن تصنيف بعض الغدد بصرامة فى فئة واحدة فقط
5. أمثلة على الغدد أحادية الخلية فى كل من فئتى الغدد الخارجية والداخلية
6. علم الأنسجة العام لغدة خارجية نموذجية
7. مخطط تصنيف الغدد الخارجية وفقًا لتشريح أنظمة قنواتها وتوزيع خلاياها الإفرازية
8. الاختلافات بين الغدد المصلية، المخاطية، والمختلطة، وأمثلة على كل منها
9. مقارنة بين طرق إفراز الغدد الإكرينية، الأ بوكpivرية، والهولكرينية
10. تنوع الأغشية المصلية، المخاطية، وغيرها فى الجسم، وأسماء بعض الأغشية المتخص صة فى الجلد، الأوعية الدموية، والمفاصل

5.6 نمو الأنسجة، التطور، الإصلاح، والتنكس

1. الاختلافات بين فرط التنسج، تضخ م الخلايا، والورم كأنماط طبيعية ومرضية لنم و الأنسجة
2. الاختلافات بين التمايز والتغير النسيجى كأنماط للتحول من نوع نسيجى إلى آخر
3. ما هى الخلايا الجذعية وكيف ترتبط باللدو نة التطورية؛ الاختلافات بين الخلايا الجذع ية الجنينية والبالغة؛ والاختلافات بين الخلا يا الجذعية الكلية القدرة، متعددة الق درة، متعددة التخصص، ومتخصصة القد رة
4. الاختلافات بين التجدد والتليف كأنماط لإصلاح الأنسجة
5. خطوات شفاء الجرح مثل القطع فى الجلد
6. المعنى العام لضمور الأنسجة وشكلان أو سببان للضمور
7. الاختلافات بين النخر والبرمجة الخلوية للموت كأنماط لموت الخلايا وانكماش الأ نسجة؛ وبعض الوظائف الطبيعية للبرمجة الخ لوية للموت
8. أنواع النخر بما فى ذلك الاحتشاء، الغرغرينا الرطبة والجافة، والغرغرينا الغازية

▶ اختبار استذكارك

الإجابات فى الملحق أ

1. يوجد الطهارة البولية فى
   أ. الجهاز البولى.
   ب. الجهاز التنفسى.
   ح. الجهاز الهضمى.
   د. الجهاز التناسلى.
   هـ. كل ما سبق.
2. السطح الخارجى للمعدة مغطى بـ
   أ. غشاء مخاطى.
   ب. غشاء سيروزى.
   ح. الصفاق الجدارى.
   د. طبقة لامينا بروبرا.
   هـ. غشاء قاعدى.
3. أى من هذه هو الطبقة الجرثومية الأولية؟
   أ. البشرة
   ب. الغشاء المخاطى
   ح. الطبقة الخارجية (الإكتوديرم)
   د. البطانة الداخلية للأوعية الدموية (الإندوثيليوم)
   هـ. الطهارة
4. الأنبوب المنوى فى الخصية مبطن بـ ______ الطهارة.
   أ. مكعبية بسيطة
   ب. عمودى مزيف متعدد الطبقات مزود بأهداب
   ح. طبقة حرشفية متقرنة
   د. انتقالية
   هـ. طبقة مكعبة متقرنة
5. منع السوائل من التسرب بين ______ خلايا الطهارة.
   أ. جليكوزأمينوجليكانات

دليل الدراسة

13. تشغل الخلايا العظمية وخلايا الغضروف تجاويف صغيرة تُسمى ______.
14. غالبًا ما تُسمى خلايا العضلات والمحاور العصبية ______ بسبب شكلها.
15. الأوتار والأربطة تتكون بشكل رئيسي من البروتين ______.
16. من بين الفئات الثلاث الرئيسية للعضلات، الفئة الوحيدة التي لا تحتوي أبدًا على وصلات فجوية هي ______.
17. تستند الطهارة على طبقة تُسمى ______ بين أعمق خلاياها والنسيج الضام الأساسي تحتها.
18. الألياف والمادة الأساسية تشكل ______ الجزء الأساسي من النسيج الضام.
19. يمكن للخلية الجذعية البالغة أن تتمايز ______ واحد/واحدة إلى نوعين أو أكثر من الخلايا الناضجة.
20. أي طهارة يلامس فيها كل خلية الغشاء القاعدي تُسمى طهارة ______ مبسطة.

ح. الكثيف غير المنتظم
د. الأصفر المرن
هـ. الكثيف المنتظم

9. شكل الأذن الخارجية يرجع إلى
أ. العضلات الهيكلية.
ب. الغضروف المرن.
ح. الغضروف الليفي.
د. الغضروف المفصلي.
هـ. الغضروف الزجاجي.

10. العنصر/العناصر الأكثر وفرة في الدم هو/هي
أ. البلازما.
ب. كريات الدم الحمراء.
ح. الصفائح الدموية.
د. الكريات البيضاء.
هـ. البروتينات.

11. أي شكل من أشكال موت الأنسجة المرضي يُسمى ______.
12. الطهارة الحرشفية البسيطة التي تبطن التجويف البريتوني تُسمى ______.

ب. هيميديسموزومات
ح. وصلات ضيقة
د. وصلات تواصلية
هـ. الأغشية القاعدية

6. المثبت يعمل على
أ. إيقاف تحلل الأنسجة.
ب. تحسين التباين.
ح. إصلاح نسيج تالف.
د. ربط الخلايا الطلائية معًا.
هـ. ربط خلايا عضلة القلب معًا.

7. الكولاجين في النسيج الرخو يُنتج بواسطة
أ. البلعميات الكبيرة.
ب. الخلايا الليفية.
ح. خلايا البدينة.
د. الكريات البيضاء.
هـ. خلايا الغضروف.

8. الأوتار تتكون من ______ النسيج الضام.
أ. الهيكلي
ب. النسيج الرخو

الإجابات في الملحق أ

بناء مفرداتك الطبية

اذكر معنى كل عنصر من عناصر الكلمة، وقدم مصطلحًا طبيًا من هذا الفصل يستخدمه أو تعديلًا طفيفًا له.

1. أبو-
2. غضروفي-
3. خارجي-
4. -مولد
5. نسيجي-
6. هولو-
7. هيالو-
8. نيكرو-
9. بلاس-
10. سكوامو-

الإجابات في الملحق أ

ما الخطأ في هذه العبارات؟

اشرح بإيجاز لماذا كل من العبارات التالية خاطئة، أو أعد صياغتها لتصبح صحيحة.

1. المريء محمي من الاحتكاك بواسطة طهارة حرشفية متعددة الطبقات متقرنة.
2. فقط الخلايا القاعدية في الطهارة العمودية الكاذبة متعددة الطبقات تلامس الغشاء القاعدي.
3. يُعرف العضل الهيكلي بأنه دائمًا مرتبط بالعظام.
4. تُنتج إفرازات الغدة بواسطة خلايا السدى (الستروما) الخاصة بها.
5. في جميع الأنسجة الضامة، يشغل المصفوفة مساحة أكبر من الخلايا.
6. الخلايا الدهنية تقتصر على النسيج الدهني.
7. تعمل الوصلات المحكمة بشكل أساسي على منع انفصال الخلايا عن بعضها.
8. تُسمى عملية تطور أنواع الأنسجة الناضجة من أنسجة غير الناضجة لحديثي الولادة (المواليد الجدد) بالورم الجديد (neoplasia).
9. الخلايا العصبية والعضلية هي الخلايا الوحيدة في الجسم القابلة للاستثارة كهربائيًا.
10. الغضروف دائمًا مغطى بغشاء ليفي يُسمى الغشاء المحيط بالغضروف (perichondrium).

دراسة دليل

اختبار فهمك

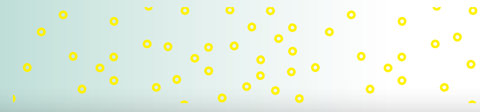
1. غالبًا ما يُطلب من المرأة في مرحلة الولادة أ ن تدفع. هل يعني ذلك أنها تقوم بانقباض رحمها بوعي لطرد الطفل؟ برر إجابتك بناءً ع لى التركيب العضلي للرحم.

2. مبدأ رئيسي في نظرية الخلية هو أن جميع ا لتركيبات والوظائف الجسدية تعتمد على الخ لايا. ومع ذلك، فإن الخصائص الهيكلية للعظام ، والغضاريف، والأوتار، تعود أكثر إلى المادة خارج الخلوية منها إلى الخلايا نفسها. هل هذ ا استثناء من نظرية الخلية؟ لماذا أو لماذا لا؟

3. عندما يتم ضغط الغضروف، يتم عصر الم اء منه، وعندما يُزال الضغط، يتدفق الماء مرة أخرى إلى المصفوفة. في ظل هذه الحالة، لماذا تعتقد أن الغضرو ف في المفاصل الحاملة للوزن مثل الركبتي ن يمكن أن يتدهور بسبب قلة التمرين؟

4. الطهارة في الجهاز التنفسي هي في الغالب من النوع العمودي المزيف الطبقات والمزو د بالأهداب، ولكن في الحويصلات الهوائية - الأ كياس الهوائية الصغيرة حيث يتم تبادل الأك سجين وثاني أكسيد الكربون بين الدم والهواء ا لمستنشق - تكون الطهارة بسيطة مسطحة. اشرح الأهمية الوظيفية لهذا الاختلاف النسي جي. أي، لماذا لا تمتلك الحويصلات الهوائية نفس نوع الطهارة مثل بقية الجهاز التنفسي؟

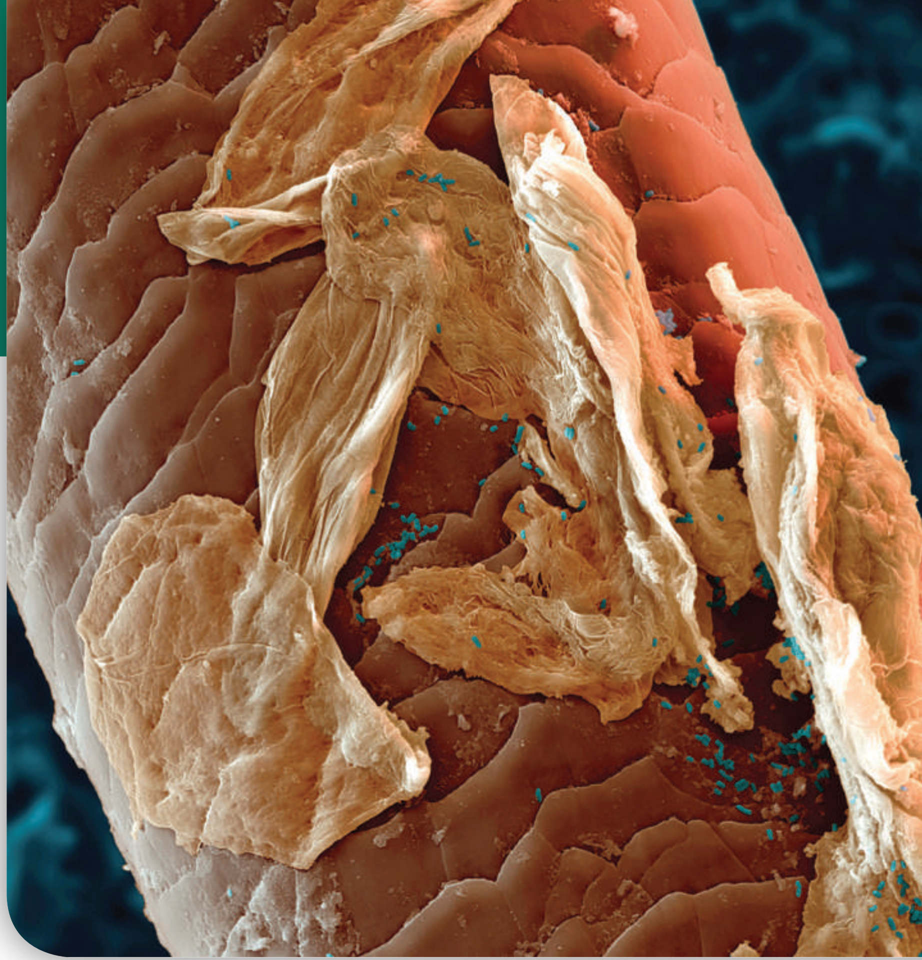
5. أيهما تعتقد أنه يلتئم أسرع، الغضروف أم العظم؟ الطهارة متعددة الطبقات المسطحة أم الطهارة ا لعمودية البسيطة؟ ولماذا؟



الفصل

6

THE
الجهاز الجلدى
SYSTEM



عمود شعرة الإنسان)SEM(. خلايا قشرة الشعر، ذات الحواف الموجهة للأع
لى، لونها بنى محمر؛ خلايا الجريب الملتصقة بالشعرة لونها بنى فاتح؛ والنقاط ا
لزرقاء هى بكتيريا على الشعر.

عين العلم / مصدر العلم

رؤى أعمق

6.1التطبيق السريرى: الامتصاص ع
بر الجلد

6.2التطبيق السريرى: ترقيع الجلد

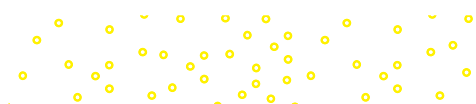
6.3التطبيق السريرى: UVB ،UVA، و
واقيات الشمس

6.4الطب التطورى: تطور
لون الجلد

مخطط الفصل

Anatomy & Physiology Revealed 4.0

الوحدة 4: الجهاز الجلدى



يتكون الجهاز الجلدى)integumentary system(من الجلد، وال
شعر، والأظافر، والغدد المرتبطة بها. الجلد)الطبقة الخارجية(هو أكبر وأ
ثقل عضو فى الجسم. فى البالغين، يغطى مساحة تتراوح بين 1.5 إلى 2
.0 متر مربع ويشكل حوالى 8% من وزن الجسم. ويتكون من طبقتين:
طبقة طلائية حرشفية متعددة الطبقات تسمى البشرة)epidermis(وطبقة أ
عمق من النسيج الضام تسمى الأدمة)dermis( )الشكل 6.1(. تحت الأدمة
توجد طبقة أخرى من النسيج الضام تسمى تحت الجلد)hypodermis(، وا
لتى ليست جزءًا من الجلد لكنها تُدرس عادةً معًا معه.
معظم الجلد يتراوح سمكه بين 1 إلى 2 ملم، لكنه يتفاوت من أق
ل من 0.5 ملم على الجفون إلى 6 ملم بين لوحى الكتف. يعود هذا الا
ختلاف بشكل رئيسى إلى تفاوت سمك الأدمة، على الرغم من أن الج
لد يُصنف إلى سميك أو رقيق بناءً على سمك البشرة فقط. يغطى الج
لد السميك راحتى اليدين وأخمصى القدمين والأسطح المقابلة للأصا
بع وأصابع القدم. سمك البشرة وحدها حوالى 0.5 ملم، بسبب طبقة
سطحية سميكة جدًا من الخلايا الميتة تسمى الطبقة القرنية)stratu
m corneum( )انظر الشكل 6.3(. يحتوى الجلد السميك
على غدد عرقية لكنه لا يحتوى على بصيلات شعر أو غدد دهنية)زيتية
(. أما بقية الجسم فيغطيه الجلد الرقيق، الذى تبلغ سماكة بشرته حوا
لى 0.1 ملم، مع طبقة قرنية رقيقة)انظر الشكل 6.6(. يحتوى على ب
صيلات شعر، وغدد دهنية، وغدد عرقية.

6.1 وظائف الجلد

الجلد أكثر بكثير من مجرد وعاء للجسم. له مجموعة متنوعة من الوظا
ئف المهمة التى تتجاوز المظهر الخارجى.

1. المقاومة ضد الصدمات والعدوى. يتعرض الجلد لأكثر الإصا
بات الجسدية فى الجسم، لكنه يقاوم ويتعافى من الصدمات أ
فضل من الأعضاء الأخرى. خلايا البشرة محشوة بالبروتين القو
ى الكيراتين)keratin(ومتصلة بواسطة الديسموسومات القو
ية التى تمنح هذه الطبقة الطلائية متانتها. قليل من الكائنات ا
لمعدية يمكنها اختراق الجلد السليم.
تستوطن البكتيريا والفطريات السطح، لكن أعدادها
تُحافظ عليها جافة نسبياً، وحموضتها الطفيفة
)الرقم الهيدروجينى ٤–٦(، والببتيدات المضادة للميكروبات الدفاعية المسماة *ديرم
سيدين* و *ديفنسينز*. يُطلق على الفيلم الحمضى الواقى اسم
الطبقة الحمضية.
2. وظائف الحاجز الأخرى. الجلد مهم كحاجز للماء. فهو يمنع الجسم
من امتصاص الماء الزائد عند السباحة أو الاستحمام، ولكن ا
لأهم من ذلك، يمنع الجسم من فقدان الماء الزائد. الطبقة ال
خارجية للجلد)البشرة(هى أيضًا حاجز للأشعة فوق البنفسج
ية)UV(، حيث تمنع الكثير من هذه الأشعة المسببة للسرطان م
ن الوصول إلى طبقات الأنسجة الأعمق، وهى حاجز للكثير من ا
لمواد الكيميائية التى قد تكون ضارة. ومع ذلك، فهى قابلة لنفا
ذ عدة أدوية وسموم)انظر التعمق 6.1(.
3. تخليق فيتامين د. تقوم البشرة بالخطوة الأولى فى
تخليق فيتامين د، الذى يُحتاج إليه لتطوير العظام
وصيانتها. يكمل الكبد والكلى
العملية. يتم توضيح ذلك بشكل أكبر فى الشكل 7.16.
4. الإحساس. الجلد هو أكبر عضو حسى لدينا. وهو مزود بمجموعة
متنوعة من النهايات العصبية التى تستجيب للحرارة،

مراجعة

- طبقة البشرة فى الجلد هى طهارة حرشفية متعددة الطبقات متقرنة، تم تقديمها فى الجدول 5.3.
- يتكون الأدمة من الأنسجة الضامة الرخوة وغير المنتظمة الكثيفة الم
وضحة فى الجدولين 5.4 و5.5. البروتين الرئيسى فيها هو الكولاجين
، الذى تم تقديمه فى القسم 5.3ب.
- تعتمد المتانة المعروفة للبشرة جزئيًا على الديسموسومات الخاصة بها، الموضحة فى الشكل 5.28ب.
- مراجعة أنواع الغدد الإكرينية، الأبوكرينية، والهولوكرينية)انظر الشكل
5.32(ستساعد فى فهم أنواع غدد العرق وغدد الزيت فى الجلد فى هذ
ا الفصل.
- تعتمد عدة مسائل فى هذا الفصل، من غدد العرق إلى الشعر إلى
لون الجلد، على مبادئ التطور البشرى والانتقاء الطبيعى الموضحة فى ا
لقسم 1.4.

نولى اهتمامًا يوميًا لبشرتنا وشعرنا وأظافرنا أكثر من أى نظام عضو
ى آخر. فهى، فى النهاية، الأكثر وضوحًا، ومظهرها يؤثر بشدة على
تفاعلاتنا الاجتماعية.
قلة من الناس يخرجون من المنزل دون النظر أولاً فى المرآة ليروا ما إذا كا
نت بشرتهم وشعرهم بمظهر لائق. بغض النظر عن الاعتبارات الاجتماعية،
فإن الجهاز الجلدى مهم لصورة الفرد الذاتية، والصورة الذاتية الإيجابية مهم
ة للمواقف التى تعزز الصحة العامة الجيدة. لذا، فإن العناية بالجهاز الجلدى
هى جزء مهم بشكل خاص من خطة العناية الشاملة بالمريض.

الجلدية[1] هى فرع الطب المتخصص فى العناية وعلاج الجلد. ومع ذلك،
يجب أن يشمل الفحص البدنى العام فحص الجلد والشعر والأظافر. يمكن
لمظهرها أن يوفر دلائل ليس فقط على صحتها، بل أيضًا على اضطرابات أ
عمق مثل سرطان الكبد، فقر الدم، وفشل القلب. كما أن الجلد هو أكثر أع
ضائنا عرضة للخطر، معرض للإشعاع، الصدمات، العدوى، والمواد الكيميائ
ية الضارة. وبناءً عليه، يحتاج الجلد ويحظى باهتمام طبى أكثر من أى نظام
عضوى آخر.

6.1 الجلد و الأنسجة تحت الجلدية

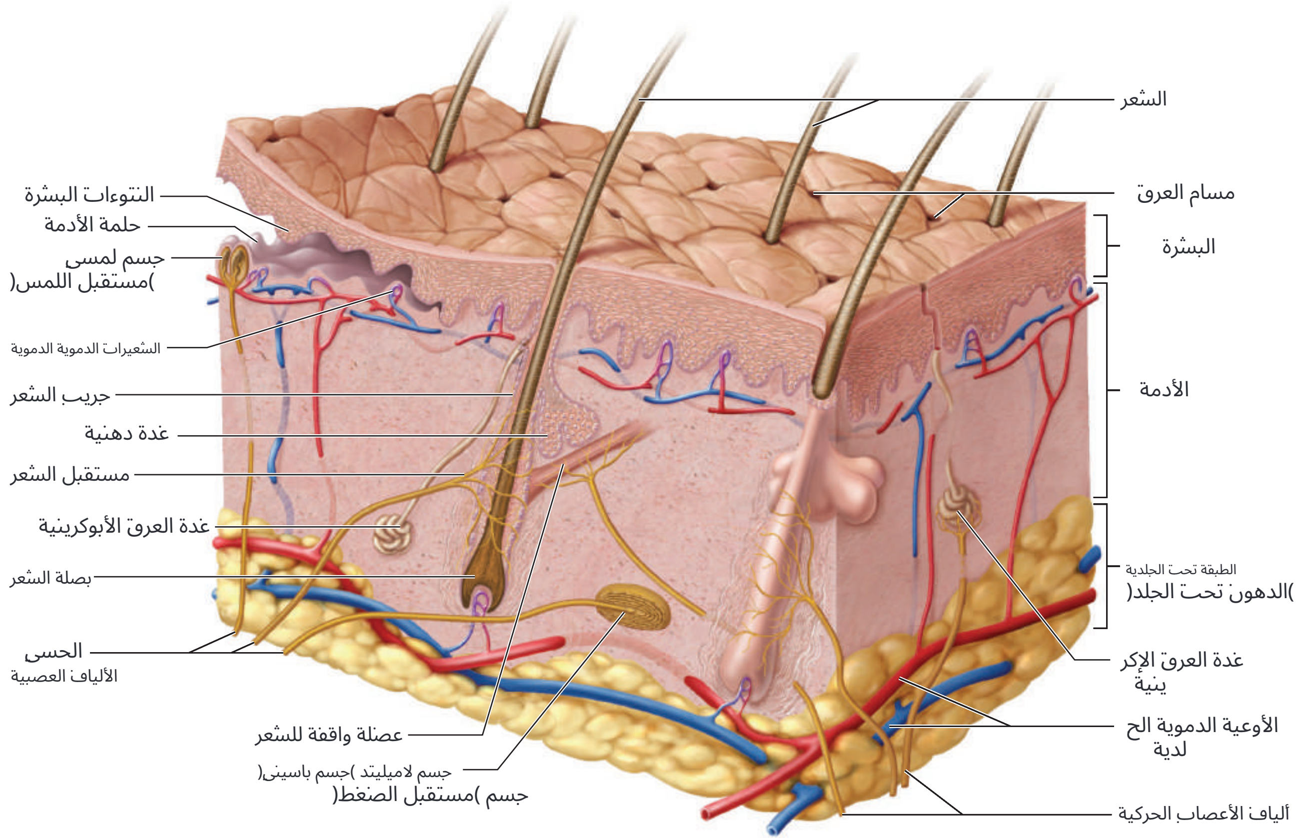
الأهداف التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. سرد وظائف الجلد وربطها ببنيته؛
ب. وصف البنية النسيجية للبشرة، والأدمة، والنسيج تحت الج
لد؛
ج. وصف الألوان الطبيعية والمرضية التى يمكن أن يظهر بها الجلد، وشرح أسبابها؛ و
د. وصف العلامات الشائعة للجلد.

[1] *الجلد* = الجلد؛ *لوجى* = دراسة

[2] *الجلد* = الغطاء



الشكل 6.1 هيكل الجلد والأنسجة تحت الجلد. تم تقشير البشرة فى الزاوية العلوية اليسرى لإظهار الحدود بين الأدمة والبشرة.

5. تنظيم درجة الحرارة. يتلقى الجلد تدفق دم يعادل 10 أضعاف ما يحتاجه لصيانته الذاتية، وهو مزود بغزارة بنهايات عصبية تُسمى مستقبلات الحرارة، التى تراقب درجة حرارة سطح الح سم. كل هذا يتعلق بأهميته الكبيرة فى تنظيم درجة حرارة الح سم. استجابةً للبرودة، يحتفظ الجسم بالحرارة عن طريق تضييق ا لأوعية الدموية فى الأدمة)*تضيق الأوعية الجلدية*(

، مما يبقى الدم الدافئ أعمق داخل الجسم. استجابةً لارتفاع الح رارة، يفقد الجسم الحرارة الزائدة عن طريق توسيع تلك الأوعية)توسع الأوعية الجلدية(، مما يسمح بتدفق المزيد من الدم بالقرب من السطح وفقدان الحرارة عبر الجلد. إذا لم يكن هذا كافيًا لاستعادة درجة الحرارة الطبيعية، تفرز الغدد العرقية العرق . تبخر العرق يمكن أن يكون له تأثير تبريد قوى. وهكذا، يلعب الح لد دورًا فى تدفئة وتبريد الجسم على حد سواء.

6. التواصل غير اللفظى. الجلد وسيلة مهمة للتواصل غير ا للفظى. الإنسان، مثل معظم الرئيسيات الأخرى، لديه وجوه أكثر تعبيرًا من الثدييات الأخرى)الشكل 6.2(. العضلات الهي كلية المعقدة تندمج فى الأدمة وتسحب الجلد لخلق تعبيرات و جه دقيقة ومتنوعة. المظهر العام للجلد، الشعر، والأظافر — سوا ء كانت آثار حب الشباب فى سن المراهقة، وجود علامة ولادة أو ندبة، أو مجرد "يوم شعر سيء" — كلها مهمة أيضًا للق بول الاجتماعى ولصورة الشخص الذاتية وحالته العاطفية.

البرودة، اللمس، الملمس، الضغط، الاهتزاز، وإصابة الأنسجة. توجد هذه المستقبلات الحسية بكثرة خاصة على الوجه، راحة اليدين، ا لأصابع، أخمص القدمين، الحلمات، والأعضاء التناسلية. وهناك عد د قليل نسبيًا منها على الظهر وفى الجلد الذى يغطى المفاصل مثل الركبتين والمرفقين.



نطرة أعمق 6.1

التطبيق السريرى

الامتصاص عبر الجلد

تمكن قدرة الجلد على امتصاص المواد الكيميائية من إمكانية إعطاء عدة أدوية عل ى شكل مراهم أو لوشنات، أو عن طريق لصقات لاصقة تُفرج الدواء بشكل مستم ر عبر غشاء. على سبيل المثال، يمكن علاج الالتهابات بمراهم الهيدروكورتيزون، و تُستخدم لصقات النتروجليسرين لتخفيف آلام القلب، وتُستخدم لصقات النيكوتي ن للمساعدة فى التغلب على إدمان التبغ، وتُستخدم لصقات طبية أخرى للتحكم فى ارتفاع ضغط الدم ودوار الحركة.

للأسف، يمكن أن يكون الجلد أيضًا طريقًا لامتصاص السموم. تشمل هذه المبيدات الحشرية؛ السموم من اللبلاب السام ونباتات أخرى؛ المعادن مثل الزئبق، الزرنيخ، والرصاص؛ والمذيبات مثل الأسيتون)مزيل طلاء الأظافر(و مخفف الطلاء. بعض هذه يمكن أن يسبب تلفًا فى الدماغ، فشلًا فى الكبد، أو ف شلًا فى الكلى، وهو سبب وجيه لاستخدام القفازات الواقية عند التعامل مع مثل هذه المواد.




)أ( )ب(

الشكل 6.2 أهمية الجلد فى التعبير غير اللفظى.
)أ(الرئيسيات مثل البشر وهذا الشمبانزى تختلف عن الثدييات الأخرى فى وجود وجوه معبرة جدًا بسبب عضلات الوجه التى ترتبط بألياف الكولاجين فى الأدمة وتحرك الجلد.)ب(تعبير الوجه البشرى، الذى يعكس أفعال عضلات الوجه المعقدة التى تم استعراضها فى الفصل 10.

أ: DLILLC/Corbis/VCG/Getty Images؛ ب: جو ديغرانديس/كين سالادين

6.1b البشرة

الطبقة البشرة[3] هى طهارة حرشفية متعددة الطبقات متقرنة، كما هو موضح فى الجدول 5.3. أى أن سطحها يتكون من خلايا ميتة محشوة بالبروتين القاسى الكيراتين. مثل الطهارات الأخرى، تفتقر البشرة إلى الأوعية الدموية وتعتمد على انتشار المغذيات من النسيج الضام الكامن تحتها. تحتوى على نهايات عصبية قليلة للمس والألم، لكن معظم إحساسات الجلد تكون بسبب النهايات العصبية فى الأدمة.

خلايا البشرة

تتكون البشرة من خمسة أنواع من الخلايا)الشكل 6.3(:

1. الخلايا الكيراتينية)keh-RAT-ih-no-sites(هى الغالبية العظمى من خلايا البشرة. سُميت بهذا الاسم لدورها فى تصنيع الكيراتين. فى العينات النسيجية العادية، تكاد تكون جميع خلايا البشرة المرئية خلايا كيراتينية.
2. الخلايا الجذعية هى خلايا غير متمايزة تنقسم وتعطى خلايا كيراتينية. توجد فقط فى أعمق طبقة من البشرة، المسماة *الطبقة القاعدية)stratum basale(.*
3. الخلايا الصباغية)الميلانوسايتات(توجد أيضًا فقط فى الطبقة القاعدية، بين الخلايا الجذعية وأعمق الخلايا الكيراتينية. تقوم بتصنيع أنواع من الصباغ الميلانين، الذى سيتم شرحه لاحقًا. لديها عمليات متفرعة تمتد بين الخلايا الكيراتينية وتطرح باستمرار شظايا تحتوى على الميلانين)الميلانوسومات(من أطرافها. تقوم الخلايا الكيراتينية بابتلاع هذه الشظايا وتجميع حبيبات الميلانين على الجانب "المشمس" من نواتها. مثل المظلة، تحمى الحبيبات الداكنة الحمض النووى من الأشعة فوق البنفسجية.
4. الخلايا اللمسية، التى تعد قليلة العدد نسبيًا، هى مستقبلات للمس. توجد أيضًا فى الطبقة القاعدية من البشرة وترتبط بألياف عصبية فى الأدمة تحتها. تُسمى الخلية اللمسية والليف العصبى المرتبط بها معًا *القرص اللمسى)tactile disc(.*
5. الخلايا التغصنية[4] توجد فى طبقتين من البشرة تسمى الطبقة الشوكية)stratum spinosum(و الطبقة الحبيبية)stratum granulosum( )الموضحة فى القسم التالى(. هى خلايا مناعية تنشأ فى نخاع العظم لكنها تهاجر إلى البشرة والطهارات فى تجويف الفم والمرىء والمهبل. تحتوى البشرة على ما يصل إلى 1800 خلية تغصنية لكل مليمتر مربع. تقوم بحراسة الجسم ضد السموم والميكروبات ومسببات الأمراض الأخرى التى تخترق الجلد. عند اكتشافها لمثل هؤلاء الغزاة، تنبه الجهاز المناعى لكى يدافع الجسم عن نفسه.

طبقات البشرة

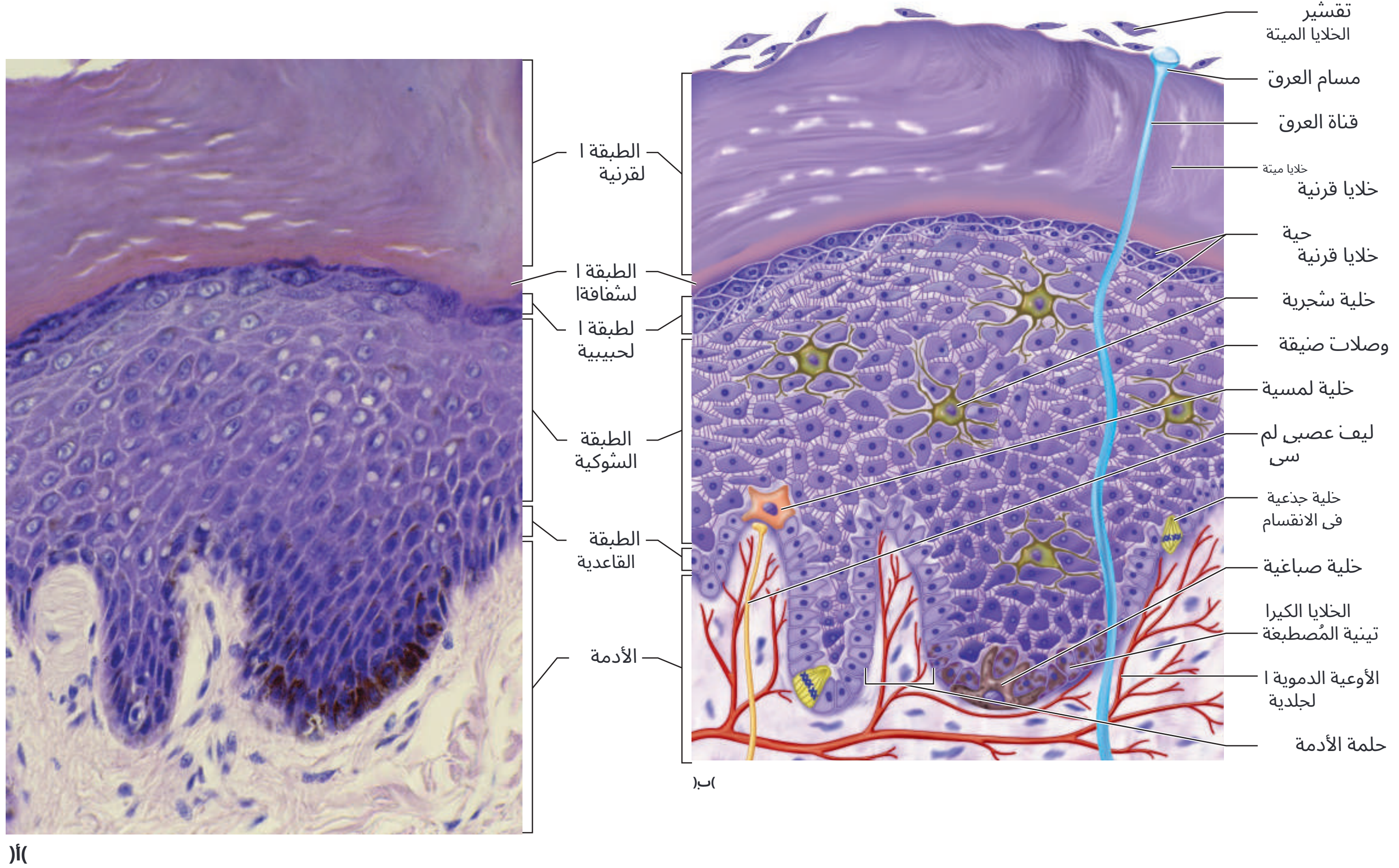
تُرتب خلايا البشرة فى أربع إلى خمس طبقات، أو طبقات)خمس فى الجلد السميك( )الشكل 6.3(. يتقدم الوصف التالى من الأعمق إلى السطحى، ومن أصغر الخلايا الكيراتينية إلى الأكبر سنًا.

1. الطبقة القاعدية)stratum basale(تتكون أساسًا من طبقة واحدة من خلايا الكيراتين المكعبة إلى العمودية المنخفضة التى تستقر على الغشاء القاعدى. متناثرة بين هذه الخلايا توجد الخلايا الصباغية)الخلايا الميلانينية(، والخلايا اللمسية، وخلايا الجذع. مع انقسام خلايا الجذع، تنتج خلايا كيراتينية تهاجر نحو السطح وتستبدل الخلايا المفقودة من البشرة.
2. الطبقة الشوكية)stratum spinosum(تتكون من عدة طبقات من خلايا الكيراتين. فى معظم الأماكن، هذه هى الطبقة الأكثر سمكًا، ولكن فى راحتى اليدين وأخمص القدمين عادةً ما تتجاوزها الطبقة القرنية. تستمر أعمق خلايا الطبقة الشوكية فى الانقسام، ولكن مع دفعها إلى الأعلى، تتوقف عن الانقسام. بدلاً من ذلك، تنتج المزيد والمزيد من خيوط الكيراتين، مما يجعل الخلايا تتسطح. لذلك، كلما نظرت إلى الأعلى فى الطبقة الشوكية، تبدو الخلايا أكثر تسطحًا. كما توجد الخلايا التغصنية فى جميع أنحاء الطبقة الشوكية، لكنها عادةً لا تكون قابلة للتعرف عليها فى مقاطع الأنسجة المصبوغة روتينيًا.

---

[3] *epi* = فوق، على؛ *derm* = جلد

[4] *dendr* = شجرة، فرع



الشكل 6.3 طبقات وأنواع خلايا البشرة.)أ(صورة.)ب(رسم مع ميزات إضافية للجلد غير مرئية في الصورة. الفراغات بين الخلايا الكيراتينية هي أثر ناتج عن انكماش الخلايا أثناء التثبيت، لكنها تُرى عادة في شرائح الجلد تحت المجهر. الرسم يبرز الوصلات الضيقة الشبيهة بالسلم التي تربط هذه الفراغات.

أ: Biophoto Associates/Science Source

هنا، تكون الخلايا الكيراتينية مكتظة ببروتين شفاف يُسمى *الإل يدين* (eleidin). الخلايا لا تحتوي على نوى أو عضيا ت أخرى. هذه المنطقة لها مظهر شاحب وخالي من الملامح مع حدود خلوية غير واضحة.

5. تتكون الطبقة القرنية من ما يصل إلى 30 طبقة من الخلايا الميتة المقشرة والمقرنة التي تشكل طبقة سطحية متينة. وهي مقاومة بشكل خاص للاحتكاك، والاختراق، وفقدان الماء.

تاريخ حياة خلية الكيراتين

تتساقط الخلايا الميتة باستمرار من سطح الجلد. وبما أننا نفقد هذه ا لخلايا باستمرار، يجب علينا أن نستبدلها باستمرار. تُنتج الخلايا الكيرا تينية في أعماق البشرة من خلال انقسام الخلايا الجذعية في الطبقة ا لقاعدية. كما تستمر بعض أعمق الخلايا الكيراتينية في الطبقة الشوكي ة في الانقسام. يتطلب الانقسام الخلوي توفر كمية كبيرة من الأكسج ين والمواد المغذية، والتي تحصل عليها هذه الخلايا العميقة من الأوع ية الدموية في الأدمة المجاورة. بمجرد أن تهاجر خلايا البشرة أكثر من خليتين أو ثلاث خلايا بعيدًا عن الأدمة، يتوقف انقسامها. نادرًا ما يُرى الانقسام في الشرائح المحضرة للجلد، لأنه يحدث بشكل رئيسي في ا لليل ومعظم عينات الأنسجة تؤخذ خلال النهار.

تُسمى الطبقة الشوكية بسبب مظهر اصطناعي (أثر) ناتج عن التثبيت النسيجي لعينات الجلد. الخلايا الكيراتيني ة مرتبطة بقوة ببعضها البعض بواسطة العديد من الديسموسوم ات، التي تفسر جزئياً صلابة البشرة. تعمل المثبتات النسيج ية على انكماش الخلايا الكيراتينية مما يجعلها تنسحب عن بع ضها، لكنها تبقى مرتبطة بالديسموسومات— مثل شخصي ن يمسكان بأيديهما بينما يبتعدان عن بعضهما.

تُنشئ الديسموسومات بذلك جسوراً من خلية إلى أخرى، مم ا يمنح كل خلية مظهراً شوكياً نستمد منه كلمة *الشوكية*. كما تر تبط الخلايا الكيراتينية ببعضها بواسطة الوصلات الضيقة، التي تساهم بشكل أساسي في احتفاظ الجلد بالماء.

3. تتكون الطبقة الحبيبية من ثلاث إلى خمس طبقات من الخلا يا الكيراتينية المسطحة— أكثر في الجلد السميك مقارنة بالجلد الرقيق. تحتوي خلايا هذه الطبقة على حبيبات كيراتوهيلين خ *شنة وداكنة الصبغة* تعطي الطبقة اسمها.

4. الطبقة الشفافة (stratum lucidum) هي منطقة رقيقة تقع فوق الطبقة الحبيبية، تُرى فقط في الجلد السميك.

---

5 *الطبقة* = طبقة؛ *شفاف* = خفيف، واضح

الألياف المرنة والشبكية، الخلايا الليفية، والخلايا الأخرى النموذجية لل نسيج الضام الليفى. يتم تزويدها جيدًا بالأوعية الدموية، والغدد الجلد ية، والنهايات العصبية. بصيلات الشعر وجذور الأظافر مدمجة فى الأد مة. فى الوجه، ترتبط العضلات الهيكلية بألياف الكولاجين فى الأدمة و تنتج تعبيرات مثل الابتسامة، تجعد الجبهة، أو رفع الحاجب)انظر ال شكل 6.2(.

الحد الفاصل بين البشرة والأدمة واضح نسيجيًا وعادة ما يكون م تموجًا. الأمواج الصاعدة هى امتدادات تشبه الأصابع للأدمة تُسمى ا لحليمات الجلدية[6])انظر الشكل 6.3(، والأمواج الهابطة للبشرة بين الح ليمات تُسمى التلال البشرة. وهكذا تتشابك حدود الأدمة والبشرة م ثل الورق المقوى المموج، وهو ترتيب يقاوم انزلاق البشرة عبر الأدمة. إذا نظرت عن كثب إلى يدك ومعصمك، سترى أخاديد دقيقة تقسم ا لجلد إلى مناطق صغيرة مستطيلة إلى معينية الشكل. تنتج الحليمات الجلدية المناطق المرتفعة بين الأخاديد. على أطراف الأصابع، يشكل هذا الحد المتموج *التلال الاحتكاكية* التى تُنتج بصمات الأصابع. فى ا لمناطق الحساسة جدًا مثل الشفاه والأعضاء التناسلية، تسمح الحليما ت الجلدية الطويلة بشكل استثنائى للأوعية الدموية الدقيقة والألياف ا لعصبية بالاقتراب من السطح. هذا يمنح هذه المناطق لونًا أحمر أكثر وحساسية أكبر للمس.

طبق ما تعرفه

الحليمات الجلدية مرتفعة وعددها كبير نسبيًا فى جلد راحة اليد و باطن القدم، لكنها منخفضة وقليلة العدد فى جلد الوجه والبطن. ما رأيك فى الأهمية الوظيفية لهذا الاختلاف؟

هناك منطقتان من الأدمة تُسمى الطبقة الحليمية والطبقة الش بكية)الشكل 6.4(. الطبقة الحليمية)PAP-ih-lerr-ee(هى منطقة رقيقة من النسيج الرخو فى وحول الحليمات الجلدية. هذا النسيج الم نظم بشكل فضفاض يسمح بحركة الكريات البيضاء والدفاعات الأخر ى ضد الكائنات التى تدخل عبر تمزقات فى البشرة. هذه الطبقة غنية بشكل خاص بالأوعية الدموية الصغيرة.

[6] *pap* = حلمة؛ *illa* = صغير

مع تكوين خلايا كيراتينية جديدة، تدفع الخلايا الأقدم نحو السطح. فى غضون 30 إلى 40 يومًا، تصل الخلية الكيراتينية إلى السطح وتتق شر. تكون هذه الهجرة أبطأ فى الشيخوخة وأسرع فى الجلد الذى تعر ض للإصابة أو الإجهاد. تتجدد البشرة المصابة بسرعة أكبر من أى نس يج آخر فى الجسم.

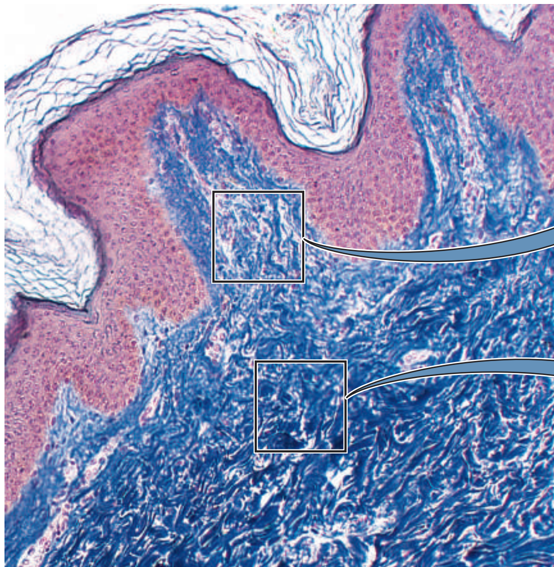
يزيد الإجهاد الميكانيكى الناتج عن العمل اليدوى أو الأحذية الضيقة من ت كاثر الخلايا الكيراتينية وينتج عنه *مسامير الجلد* أو *الثاليل* ، وهى تراكما ت سميكة من الخلايا الكيراتينية الميتة على اليدين أو القدمين.

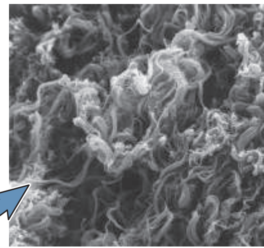
بينما تُدفع الخلايا الكيراتينية إلى الأعلى بواسطة الخلايا المنقسم ة أدناها، تصبح مسطحة وتنتج المزيد من خيوط الكيراتين وحبيبات ا للمعية الطبقية المملوءة بالدهون. فى الطبقة الحبيبية، تحدث أربعة تطورات مهمة:)1(تطلق حبيبات الكيراتوهيلين بروتينًا يسمى فيلاج رين يربط خيوط الكيراتين الهيكلية معًا فى حزم خشنة وقوية.)2(تنتج الخلايا طبقة قوية من بروتينات الغلاف تحت غشاء البلازما م باشرة، مما يؤدى إلى تكوين كيس بروتينى شبه لا يمكن تدميره حول حزم الكيراتين.)3(تطلق الحبيبات اللمعية مزيجًا دهنيًا ينتشر على سطح الخلية ويجعلها مقاومة للماء.)4(أخيرًا، مع قطع هذه الحواجز إم داد الخلايا الكيراتينية بالمواد المغذية من الأسفل، تتحلل عضياتها و تموت الخلايا، تاركة فقط الكيس المقاوم للماء الذى يحيط بحزم الكيرا تين الخشنة. تؤدى هذه العمليات، إلى جانب الوصلات المحكمة بين ا لخلايا الكيراتينية، إلى تكوين حاجز مائى بشرى ضرورى للحفاظ على ماء الجسم.

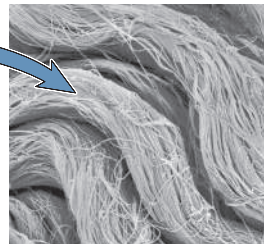
تتكون الطبقة القرنية من طبقات مضغوطة من الخلايا الكيراتيني ة الميتة وقطع منها. تتقشر الخلايا الميتة قريبًا)تتساقط(من سطح ا لبشرة على شكل رقائق تسمى القشرة . تطفو القشرة فى الهواء على شكل نقاط بيضاء صغيرة، وتستقر على الأسطح المنزلية، وتشكل جزءً ا كبيرًا من غبار المنزل المتراكم هناك. *القشرة* تتكون من كتل من ال قشرة ملتصقة معًا بواسطة الزهم)الزيت(.

6.1ح الأدمة

تحت البشرة توجد طبقة من النسيج الضام، وهى الأدمة . يتراوح سمكه ا من 0.2 مم فى الجفون إلى حوالى 4 مم فى راحتى اليدين وأخمص ال قدمين. تتكون بشكل رئيسى من الكولاجين، لكنها تحتوى أيضًا على


)أ(


)ب(الطبقة الحليمية من الأدمة


)ح(الطبقة الشبكية من الأدمة

الشكل 6.4 طبقات الأدمة.)أ(صورة مجهرية ضوئ ية)LM(لجلد الإبط، مع صبغ البشرة باللون الوردى وص بغ كولاجين الأدمة باللون الأزرق.)ب(الطبقة الحليمية ، المكونة من حزم كولاجين مرتبة بشكل فضفاض وع شوائى؛ فراغ مفتوح مملوء بالسائل؛ والعديد من الأوع ية الدموية الصغيرة التى تغذى كلًا من الأدمة والبشرة.) ح(الطبقة الشبكية، المكونة من حزم كولاجين أكثر خ شونة وقوة ومساحة مفتوحة أقل. الجزآن)ب(و)ح(هما صور مجهر إلكترونى ماسح)SEM(.

أ: دينيس ستريت/ماكجرو هيل؛ ب: ديفيد م. فيليبس/ساينس سورس؛ ح: سوسومو نيشناغا/ساينس سورس

عن طريق الحقن لأن النسيج تحت الجلد غنى بالأوعية الدموية و
يمتصها بسرعة.
الدهون تحت الجلد هى تحت الجلد وتتكون بشكل رئيسى من
النسيج الدهنى. تعمل كمخزن للطاقة وعازل حرارى،
وهى قابلة للضغط وتحمى الأنسجة الأعمق من خلال امتصاص الضغط
والضربات على الجسم. ليست موزعة بشكل متساو؛ على سبيل المثال،
هى غائبة تقريبًا من معظم فروة الرأس لكنها وفيرة نسبيًا فى
البطن، الوركين، الفخذين، وثديى النساء. متوسط سمك الدهون تحت الجلد
أكثر بحوالى 8% عند النساء مقارنة بالرجال، ويتغير مع العمر.
الأطفال وكبار السن لديهم دهون تحت الجلد أقل من غيرهم، وبالتالى
يكونون أكثر حساسية للبرد.
الجدول 6.1 يلخص طبقات الجلد والطبقة تحت الجلد،
من السطح إلى العمق.

6.1e لون الجلد

تنشأ اختلافات لون الجلد والشعر بشكل رئيسى من تنوع وكميات *الميلانين*.
هناك نوعان من الميلانين فى الجهاز الجلدى هما الميلانين الداكن الإيوميلا
نين[10] والميلانين الأخف لونًا، الأحمر المصفر الفيو ميلانين.11 لدى الإيومى
لانين نوعان يُطلق عليهما الإيوميلانين البنى و الإيوميلانين الأسود.
هذه هى التى تحدد ألوان السمرة والبنى والأسود للجلد، بما فى ذلك
تأثير التعرض للشمس. الفيو ميلانين، الذى يحصل على لونه من مح
توى الكبريت الأعلى، يمنح درجات اللون الأصفر إلى الأحمر لبعض آل
بشرات الآسيوية والأمريكية الأصلية والدرجات الوردية للبشرة البيضاء
.)انظر الفصل 16 حول دور هذه الأصباغ فى العين(

الطبقة الشبكية[7] من الأدمة أعمق وأكثر سمكًا بكثير.
يتكون من نسيج ضام كثيف غير منتظم؛ وهو أكثر أليافًا من كونه خلو
يًا، وبالتالى فهو أكثر صلابة من الطبقة الحليمية. وغالبًا ما يكون الحد ا
لفاصل بين الطبقتين الحليمية والشبكية غير واضح.
فى الطبقة الشبكية، يشكل الكولاجين حزمًا أكثر سمكًا مع مساحة أق
ل للمادة الأرضية، وغالبًا ما توجد تجمعات صغيرة من الخلايا الدهنية.
يمكن لتمدد الجلد فى حالات السمنة والحمل أن يمزق ألياف الكولاج
ين وينتج *علامات تمدد*)STRY-ee(، أو علامات التمدد. تحدث
هذه بشكل خاص فى المناطق التى تمتد أكثر بسبب زيادة الوزن: الف
خذين، الأرداف، البطن، والثديين.
هناك شبكات واسعة من الأوعية الدموية عند حدود الأدمة والط
بقة الخارجية للجلد)البشرة(، وفى منتصف الأدمة، وبين الأدمة والط
بقة تحت الجلدية. عندما تتعرض الأوعية الدموية فى الأدمة للتلف ب
سبب أسباب مثل الحروق والاحتكاك من الأحذية الضيقة، يمكن أن
يتسرب السائل المصلى من الأوعية ويتجمع على شكلفقاعة، تفصل
البشرة عن الأدمة حتى يتم امتصاص السائل مرة أخرى أو يتم طرده ع
ن طريق تمزق الفقاعة.

6.1د الطبقة تحت الجلد

تحت الجلد توجد طبقة تسمى الطبقة تحت الجلدية[8] أو النسيج تح
ت الجلد)انظر الشكل 6.1(. الحدود بين الأدمة والطبقة تحت الجلدية
غير واضحة، لكن الطبقة تحت الجلدية تحتوى عمومًا على المزيد منا
لنسيج الرخو والدهنى. تقوم هذه الطبقة بتبطين الجسم وربط الجلد
بالأنسجةالتى تحته. تُحقن الأدوية فى الطبقة تحت الجلدية



رؤية أعمق 6.2

التطبيق السريرى

طعوم الجلد

تُعتبر الحروق من أكثر الإصابات شيوعًا وخطورةً على الجلد)انظر القسم 6.4ب(. ى
تعافى الجلد من معظم الحروق بمفرده من خلال تكاثر الأنسجة السليمة المجاورة.
ومع ذلك، فإن الحروق من الدرجة الثالثة تدمر كامل سمك البشرة والأدمة وتتطل
ب ترقيع الجلد لاستعادة المظهر والوظيفة قدر الإمكان.

الترقيع المثالى هو الترقيع الذاتى، باستخدام البشرة وجزء من الأدمة المأخوذة
من مكان آخر فى جسم نفس المريض — مثل أخذ الجلد من الفخذ لإصلاح حرق
فى الوجه، مع ترك بعض الأدمة لتجديد الجلد المأخوذ. ميزة الترقيع الذاتى هى أنه
لا يرفضه الجهاز المناعى. يمكن تغطية مناطق صغيرة نسبيًا من الجلد السليم على
آفات أكبر بكثير باستخدام ترقيعات الجلد المشبكة. يُقطع الجلد المأخوذ بأداة إلى
نمط شبكى ويتم تمديده فوق الآفة)الشكل 6.5(.

تملأ الخلايا المتجددة الفراغات فى الشبكة.
أفضل طريقة تالية، إذا كانت الحروق واسعة جدًا بحيث لا يمكن إجراء الترقيع ا
لذاتى، هى استخدام جلد من توأم مطابق لتجنب رفض الجهاز المناعى.
نظرًا لندرة التوائم المتطابقة، فإن أفضل ما يمكن توقعه عادة هو وجود قريب مقر
ب كمتبرع. الترقيع الغريب هو جلد من أى شخص آخر، عادةً من متبرعين متوفين
. بسبب رفض الجهاز المناعى، غالبًا ما تُستخدم هذه الترقيعات كأغطية مؤقتة ف
قط، حتى يكون المريض قادرًا على التبرع بجلد للترقيع الذاتى البديل. أحد المجالا
ت الرئيسية فى هندسة الأنسجة المعاصرة هو تصميم وإنتاج بدائل خلوية مزروعة
فى المختبر كبديل لجلد المتبرع، بالإضافة إلى الأغشية الاصطناعية للاستبدال المؤ
قت أو الدائم للجلد المدمر.



الشكل 6.5 ترقيع جلد مشبك.
بارى سلاڤن / مصدر العلوم

تستخدم الطرق الهجينة خلايا مزروعة من خزعة جلد صغيرة وتُزرع على أغشية صنا
عية.

[7] reti = شبكة؛ cul = صغير
[8] hypo = تحت؛ derm = جلد
[9] auto = ذاتى

[10] eu = حقيقى؛ melan = أسود، داكن؛ in = مادة
[11] pheo = داكن؛ melan = أسود، داكن؛ in = مادة

الجدول 6.1	**تصنيف الجلد والطبقة تحت الجلد**
الطبقة	**الوصف**
البشرة	الظهارة الحرشفية متعددة الطبقات المتقرنة
الطبقة القرنية	خلايا ميتة متقرنة على سطح الجلد
الطبقة الشفافة)الطبقة اللوسيدية(	منطقة ضيقة واضحة وخالية من الملامح تُرى فقط فى الجلد السميك
الطبقة الحبيبية	طبقتان إلى خمس طبقات من الخلايا تحتوى على حبيبات كيراتوهيلين داكنة الصبغة؛ قليلة فى الجلد الرقيق
الطبقة الشوكية	طبقات عديدة من الكيراتينوسايت، عادة ما تكون منكمشة فى الأنسجة المثبتة لكنها متصلة ببعضها بواسطة الديسموسومات، مما يمنحها مظهراً شوكياً؛ تصبح مسطحة تدريجياً كلما ابتعدت عن الأدمة. الخلايا التغصنية وفيرة هنا لكنها غير مميزة فى التحضيرات المصبوغة الروتينية.
الطبقة القاعدية	طبقة واحدة من خلايا مكعبة إلى عمودية تستقر على الغشاء القاعدى؛ موقع معظم الانقسامات الخلوية؛ تتكون من الخلايا الجذعية ، والكيراتينوسايت، والخلايا الصباغية)الميلانوسايت(، والخلايا اللمسية. لكن من الصعب تمييزها باستخدام الصبغات الروتينية. الم يلانين واضح فى الكيراتينوسايت فى هذه الطبقة فى الجلد الأسود إلى البنى.
الأدمة	النسيج الضام الليفى، المزود بكثرة بالأوعية الدموية والنهايات العصبية. تنشأ الغدد العرقية وبصيلات الشعر هنا وفى تحت الجلد.
الطبقة الحليمية	الخامس السطحى من الأدمة؛ تتكون من نسيج ضام رخو؛ غالبًا ما تمتد إلى الأعلى على شكل حليمات جلدية
الطبقة الشبكية	الأربعة أخماس الأدمة الأعمق؛ نسيج ضام كثيف غير منتظم
الطبقة تحت الجلدية	نسيج رخو أو دهنى بين الجلد والعضلات

النظرة المتعمقة 6.4 تصف تطور لون الجلد وتشرح الأسباب الر ئيسية لتنوع البشر فى هذه الصفة.
قد يظهر الجلد أيضًا ألوانًا غير طبيعية ذات قيمة تشخيصية:

- الزرقة[13] هى لون أزرق أو رمادى للجلد والأغشية المخاطية نا تج عن نقص الأكسجين فى الدم المتداول. يؤدى نقص الأ كسجين إلى تحول الهيموغلوبين إلى لون بنفسجى مائل إلى الأ حمر، والذى يتحول إلى أزرق بنفسجى عند ظهوره من خلال ا لكولاجين الأبيض فى الأدمة. يكون هذا اللون مرئياً بشكل أك بر فى مناطق مثل الشفاه والأغشية المخاطية الفموية، بما فى ذلك اللسان، حيث توجد وفرة من الشعيرات الدموية وطبقة ظهارية رقيقة فوقها. قد يُرى أيضاً فى راحتى اليدين وتحت الأ ظافر، لكنه يكون أصعب فى الظهور لدى الأشخاص ذوى ال بشرة البنية أو السوداء. يمكن أن ينتج نقص الأكسجين عن حالا ت تمنع الدم من التقاط كمية طبيعية من الأكسجين فى الرئتي ن، مثل انسداد المجارى التنفسية فى حالات الغرق والاختناق ، وأمراض الرئة مثل النفاخ الرئوى، وتوقف التنفس. كما تحد ث الزرقة فى حالات مثل الطقس البارد وتوقف القلب، عند ما يتدفق الدم ببطء شديد عبر الجلد بحيث تستهلك الأنسجة الأكسجين أسرع من وصول الدم المؤكسج حديثاً.
- الاحمرار[14])ERR-ih-THEE-muh(هو احمرار غير طبيعى فى الجلد. وهو علامة شائعة على العدوى والالتهاب، لكن الاحمرا ر قصير الأمد يحدث فى حالات مثل التمرين، الطقس الحار، حر وق الشمس، الغضب، والإحراج.
ينتج الاحمرار عن زيادة تدفق الدم فى الأوعية الدموية الجلدية ا لمتوسعة أو عن تجمع خلايا الدم الحمراء فى الأدمة التى تسرب ت من الشعيرات الدموية ذات النفاذية غير الطبيعية، كما فى ح روق الشمس. قد يكون محصوراً بشكل ضيق، كما فى المنطقة الحمراء حول لدغة البعوض أو القراد، أو ينتشر بشكل أوسع.

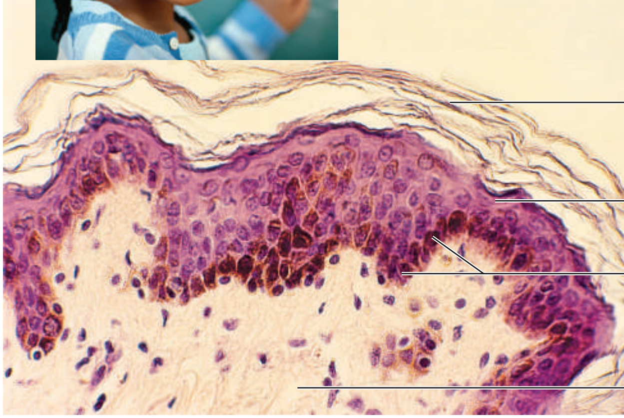
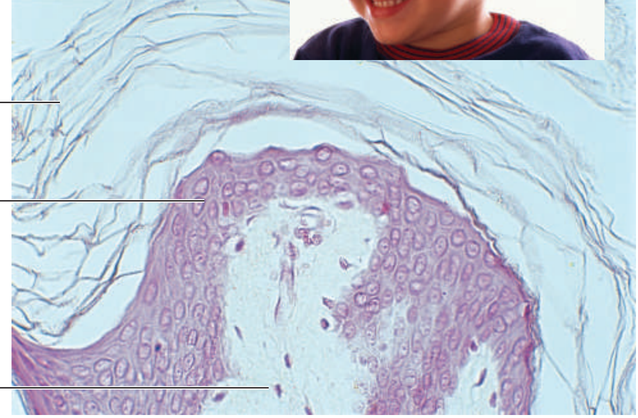
[13] cyan = أزرق؛ osis = حالة
[14] eryth = أحمر؛ em = دم

اللون.(من العوامل الأخرى التى تساهم فى لون الجلد هى درجات مخ تلفة من ظهور الأوعية الدموية الجلدية والكلوكاجين الأبيض. يكون الجلد أكثر احمرارًا فى الأماكن التى تقترب فيها الأوعية الدموية من السطح، م ثل الشفاه، وأجزاء من الأعضاء التناسلية، وحلمات الأشخاص ذوى الب شرة الفاتحة. بعض الخبراء يؤكدون، وآخرون يعارضون، أن الكاروتين-كاروتين[12] أصباغ الخضروات الصفراء والبرتقالية يمكن أن تتراكم فى الطبقة القرنية، والأدمة، والدهون تحت الجلد وتساهم فى ألوان الجلد بتلك الدرجات. قد يكون هذا سبب ظهور الجلد السميك لكعب القدم والندبات على القدم بلون أصفر.
كما وُصف سابقًا، يتم تصنيع الميلانين بواسطة الخلايا الصباغية فى الطبقة القاعدية من البشرة، لكنها تنقله إلى الخلايا القرنية التى ت تراكم فيه. معظم الميلانين يكون فى الطبقة القاعدية، لكنه يمتد عبر طبقات البشرة فى الأشخاص ذوى البشرة الداكنة)الشكل 6.6أ(. الأشخاص من ألوان مختلفة لديهم عدد متساوٍ تقريبًا من الخلايا الصباغية، لكن فى البشرة الداكنة، تنتج الخلايا الصباغية كم يات أكبر من الصباغ، وتنتشر حبيبات الميلانين فى الخلايا القرنية بش كل واسع، ويتحلل الميلانين ببطء أكبر. فى البشرة الفاتحة، يكون المي لانين أقل وفرة ومتركزًا بالقرب من نواة الخلية القرنية، لذا يعطى لونًا أ قل. كما يتحلل بسرعة أكبر، لذلك يُرى القليل منه بعد الطبقة القاعدية ، إن وُجد)الشكل 6.6ب(.

يتغير لون الجلد أيضًا مع التعرض لأشعة فوق البنفسجية من ضو ء الشمس، التى تحفز تصنيع الميلانين وتُغمق الجلد. يتلاشى السمرة مع تحلل الميلانين فى الخلايا القرنية القديمة وهجرة الخلايا القرنية إل ى السطح وتقشرها. تختلف كمية الميلانين أيضًا من مكان لآخر فى ا لجسم. فهى مركزة نسبيًا فى النمش والشامات، وعلى السطوح الظهر ية لليدين والقدمين مقارنةً بالراحة وباطن القدم، وعلى الحلمة والمنط قة المحيطة بها)الهالة(فى الثدى، وحول فتحة الشرج، وعلى كيس ال صفن والقضيب، وعلى السطوح الجانبية للطيات التناسلية الأنثوية)ا لشفرين الكبيرين(.

[12] carot = جزر



الشكل ٦.٦ تفاوتات فى تصبغ الجلد.)أ(يظهر الطبقة القاعدية ترسبات كثيفة من الميلانين فى الجلد الداكن.)ب(يظهر الجلد الفاتح القليل أو لا يظهر فيه الميلا نين.

أى من الأنواع الخمسة لخلايا البشرة هى الخلايا الميلانية فى الجزء)أ(؟

أ: دينيس ستريت/ماكجرو هيل؛)الفتاة(: توم ودى آن مكارثى/كوربيس/غيتى إيماجز؛ ب: دينيس ستريت/ماكجرو هيل؛)الصبى(: آرثر تيلى/غيتى إيماجز

فى حالات مثل معدل تدمير كريات الدم الحمراء السريع؛ وعندم ا تؤثر أمراض مثل السرطان، التهاب الكبد، والتليف الكبدى على وظيفة الكبد؛ وفى الأطفال الخدج، حيث لا يكون الكبد متطورًا بما يكفى للتخلص من البيليروبين بكفاءة.

- الورم الدموى١٧أو الكدمة، هو كتلة من الدم المتجلط تظهر من خلال الجلد. عادةً ما يكون بسبب صدمة عرضية)ضربات على الجلد(، لكنه قد يشير إلى الهيموفيليا، أو اضطرابات أيضية أ و غذائية أخرى، أو سوء المعاملة الجسدية.

▶▶▶ طبق ما تعرفه

طفل رضيع أحضر إلى العيادة يظهر عليه اصفرار غير طبيعى فى ا لجلد. ما العلامة التى يمكنك البحث عنها للمساعدة فى تحديد ما إذا كان هذا بسبب اليرقان أو بسبب كمية كبيرة من الكاروتين م ن الخضروات المهروسة فى النظام الغذائى؟

٦.١ف علامات الجلد

الجلد مميز بالعديد من الخطوط، والثنيات، والنتوءات، وبقع من الت صبغ المكثف. نتوءات الاحتكاك هى العلامات على أطراف الأصابع ا لتى تترك بصمات زيتية مميزة على الأسطح التى نلمسها. وهى سمة مميزة لمعظم الرئيسيات، رغم أن وظيفتها كانت غامضة لفترة طويلة . عندما نمس سطحًا غير مستو، تعزز نتوءات الاحتكاك حساسية أطرا ف الأصابع للنسيج عن طريق الاهتزاز وتحفيز أعضاء الحس المسماة *أجسام لاميلار* الأعمق فى الجلد. كما أنها تحسن القبضة وتساعد فى ا لتلاعب بالأشياء.

عبر الجلد. فى الأشخاص ذوى البشرة الأكثر تصبغًا، قد يكون لها لون خمرى أكثر.

- الشحوب هو لون شاحب أو رمادى يحدث عندما يكون تد فق الدم عبر الجلد قليلًا جدًا، أو عندما يكون مستوى الأكسج ين فى الدم منخفضًا جدًا، بحيث يظهر بياض الكولاجين الجلد ى من خلاله. غالبًا ما يُلاحظ أولاً فى الوجه؛ كما أن شحوب راح تى اليدين هو علامة شائعة أيضًا. على البشرة البنية، قد يظهر كخفة غير معتادة فى طيات راحة اليد الداكنة عادةً. سحب الجفن السفلى للأسفل قد يُظهر الغشاء المخاطى الداخلى له بلون أفتح بكثير من لونه الوردى الأحمر المعتاد. يمكن أن ينتج ا لشحوب عن التوتر العاطفى، انخفاض ضغط الدم، الصدمة الدموية، درجات الحرارة الباردة، أو فقر الدم الشديد.
- البهاق١٥)الشكل ٦.٧أ(هو نقص وراثى فى الميلانين يؤدى عاد ةً إلى شعر وبشرة بيضاء حليبية، وعيون زرقاء رمادية. يُصنع الميلانين من الحمض الأمينى التيروزين بواسطة إنزيم ال تيروزيناز. الأشخاص المصابون بالبهاق يرثون أليل تيروزيناز م تنحى وغير وظيفى من كلا الوالدين.
- اليرقان١٦)الشكل ٦.٧ب(هو اصفرار الجلد وبياض العينين النا تج عن ارتفاع مستويات البيليروبين فى الدم. قد يكون تأثيره على لون الجلد طفيفًا ويُغفل عنه فى الأشخا ص ذوى البشرة البنية أو السوداء، لكن تغير لون العينين لا يم كن إنكاره عند أى شخص. البيليروبين هو ناتج تحلل الهيموغ لوبين. عندما تتقدم كريات الدم الحمراء فى العمر، تتحلل وتطلق الهيموغلوبين الخاص بها. يقوم الكبد والطحال بتحو يل الهيموغلوبين إلى بيليروبين، والذى يفرزه الكبد فى الصفراء. يمكن أن يتراكم البيليروبين بما يكفى لتغيير لون الجلد،

[15] *الب* = أبيض؛ *إسم* = حالة، وضع
[16] *يرق* = أصفر

[17] *هيمات* = دم؛ *أوم* = كتلة

الشكل 6.7 لونان غير طبيعيان للجلد .
)أ(البهاق.)ب(اليرقان.

أ: Iraidka/Shutterstock ب: د. ب. مارازى/Science Source




)ب(
)أ(

علامات الولادة، أو الأورام الوعائية,[18] هى بقع من الجلد ملونة بسبب أورام حميدة فى الشعيرات الدموية. *الأورام الوعائية الشعيرية*)علامات الولادة الفراولة(عادة ما تتطور بعد حوالى شهر من الولادة. تصبح حمراء زاهية إلى أرجوانية داكنة وتكوّن ارتفاعات صغيرة كثيفة بالشعيرات الدموية تعطيها مظهراً يشبه الفراولة. حوالى 90% من الأورام الوعائية الشعيرية تختفى بحلول سن 5 أو 6 سنوات. *الأورام الوعائية الكهفية* أكثر تسطحاً وأقل سطوعاً فى اللون. تكون موجودة عند الولادة، وتكبر حتى عمر سنة ثم تتراجع. حوالى 90% تختفى بحلول سن 9 سنوات.
علامة *بقعة نبيذ البرتقال* مسطحة ولونها يتراوح بين الوردى والأرجوانى الداكن. يمكن أن تكون كبيرة الحجم وتبقى مدى الحياة.

قبل أن تتابع

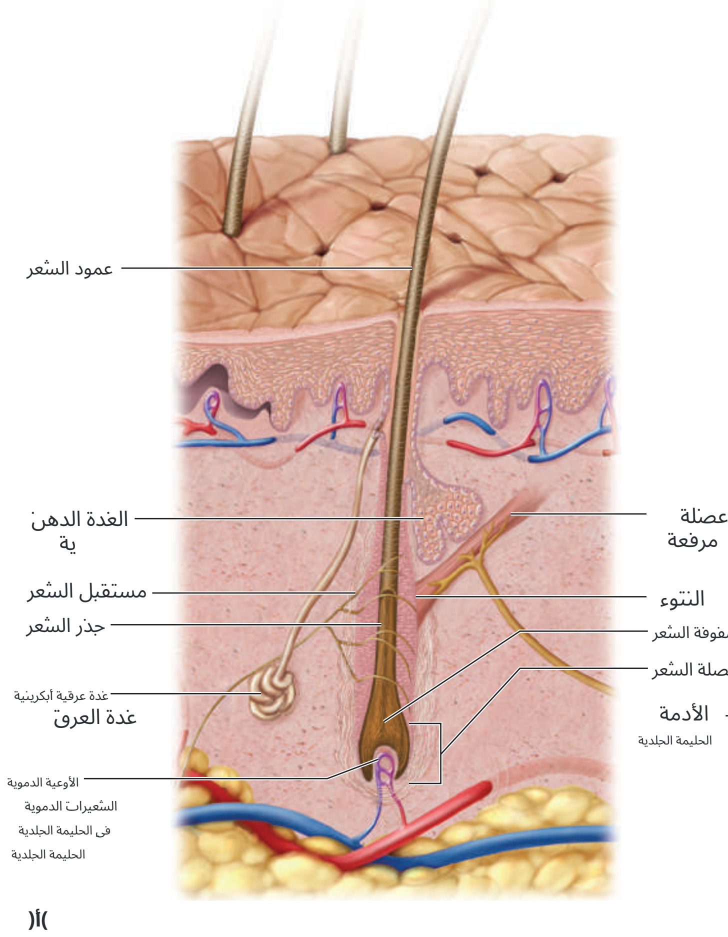
أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

1. ما هو الفرق النسيجى الرئيسى بين الجلد السميك والجلد الرقيق؟ وأين يوجد كل نوع من الجلد على الجسم؟
2. كيف يساعد الجلد فى ضبط درجة حرارة الجسم؟
3. عدد أنواع الخلايا الخمسة فى البشرة. وصف مواقعها ووظائفها.
4. عدد طبقات البشرة الخمسة من الأعمق إلى السطحى. ما هى الخصائص المميزة لكل طبقة؟ وأى طبقة غالبًا ما تكون غائبة؟
5. ما هما الطبقتان اللتان يتكون منهما الأدمة؟ وما نوع النسيج الذى يتكون منه كل طبقة؟
6. اذكر الصبغات المسؤولة عن ألوان الجلد الطبيعية وشرح كيف يمكن لبعض الحالات أن تسبب تغيرات فى لون الجلد.

الأجسام الصغيرة ذات السطح الخشن. تتشكل نتوءات الاحتكاك خلال تطور الجنين وتظل ثابتة إلى حد كبير طوال الحياة. تنتج أنماطها عن مزيج من الوراثة والأسطح التى يلمسها الجنين عشوائياً بأطراف أصابعه قبل الولادة. لذلك، لكل شخص نمط فريد من نتوءات الاحتكاك؛ حتى التوائم المتطابقة لا تنتج بصمات أصابع متطابقة.

يتساءل الكثيرون لماذا تتجعد أطراف أصابع اليدين والقدمين مثل البرقوق بعد أن تبقى فى الماء لعدة دقائق. كان يُعتقد لفترة طويلة أن السبب هو امتصاص الماء بشكل سلبى وتورم الجلد، لكن هذا لا يفسر بعض الحقائق المعروفة منذ زمن بعيد. لا تحدث "الأصابع المتجعدة" إذا تم قطع الأعصاب الودية لأطراف الأصابع أو تم حجبها بواسطة أدوية. كما أن هذه الظاهرة تحدث فقط فى أطراف الأصابع والقدمين، لذا فهى ليست خاصية عامة للجلد. يبدو أن التجعد ينتج عن انقباض الأوعية الدموية فى وسائد أطراف الأصابع، ويمكن أن يحدث أيضاً بفعل مواد كيميائية تحفز انقباض الأوعية مباشرة. وقد افترض أن النسيج المتجعد يعمل مثل مداس إطارات السيارة على طريق مبلل، حيث يضغط الماء بعيداً عن السطح عندما تمسك اليد به)أو القدم، كما فى القرود التى تمشى على أغصان الأشجار(. هذا يمكننا من الحصول على قبضة أفضل على الأشياء المبللة أو المشى بأمان أكثر على الصخور على الشاطئ، ويقلل من احتمال انزلاق الرئيسيات الأخرى، وربما سقوطها مميتاً، من الأغصان المبللة فى مظلة الغابة.
خطوط الثنى)تجاعيد الثنى(هى الخطوط الموجودة على الأسطح الثنية للأصابع، والراحة، والمعصمين، والمرفقين، وأماكن أخرى)انظر الأطلس ب، الشكل ب.19(. تشير إلى المواقع التى يطوى فيها الجلد أثناء ثنى المفاصل. الجلد مرتبط بإحكام بالأنسجة الضامة الأعمق على طول هذه الخطوط.
النمش والشامات هى تجمعات من الكيراتينوسايتات المملوءة \ بالميلانين تتراوح ألوانها من البنى الفاتح إلى الأسود. النمش هى بقع مسطحة تختلف حسب الوراثة والتعرض للشمس. الشامة)الوحم(هى بقعة مرتفعة من الجلد المملوء بالميلانين، وغالباً ما تكون مغطاة بالشعر. الشامات غير ضارة وأحياناً تُعتبر "علامات جمال"، لكن يجب مراقبتها لأى تغييرات فى اللون أو القطر أو الشكل قد تشير إلى الخباثة)سرطان الجلد( )انظر القسم 6.4أ(.

[18] hem= الدم؛ angi = الأوعية؛ oma= كتلة، ورم





الشكل 6.8 هيكل الشعرة وجريبها.)أ(تشريح الجريب والهياكل المرتبطة به.)ب(صورة مجهرية ضوئية لقاعدة جريب الشعرة. APR

ب: إد ريشكى/ستون/غيتى إيماجز

6.2 الشعر والأظافر

نتائج التعلم المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. التمييز بين ثلاثة أنواع من الشعر؛

ب. وصف علم الأنسجة للشعر وبصيلته؛

ج. مناقشة بعض النظريات حول الأغراض التى تخدمها أنواع الشعر ا لمختلفة؛ و

د. وصف بنية ووظيفة الأظافر.

الشعر، والأظافر، والغدد الجلدية هى الأعضاء الملحقة)الزوائد(للجلد. يتكون الشعر والأظافر فى الغالب من خلايا ميتة متقرنة. الطبقة القرن ية من الجلد مصنوعة من الكيراتين اللين والمرن، لكن الشعر والأظافر يتكونان فى الغالب من الكيراتين الصلب. هذا الكيراتين أكثر تماسكًا من الكيراتين اللين ويصبح أكثر صلابة بفضل العديد من الروابط الثنا ئية الكبريتيدية بين جزيئات الكيراتين.

6.2أ الشعر

الشعر يُعرف أيضًا باسم "بيلوس")PY-lus(؛ وفى الجمع "بيلى")PY-lye(. هو خيط رفيع من الخلايا المتقرنة ينمو من أنبوب مائل فى الجلد يسم ى "جريب الشعر")الشكل 6.8(.

التوزيع والأنواع

يوجد الشعر فى كل مكان تقريبًا على الجسم ما عدا راحتى اليدين وأخمصى ا لقدمين؛ والأسطح الراحية والبطنية والجانبية والأجزاء البعيدة من أصابع اليد ين والقدمين؛ والشفاه، والحلمات، وأجزاء من الأعضاء التناسلية. تحتوى الأ طراف والجذع على حوالى 55 إلى 70 شعرة لكل سنتيمتر مربع، والوجه يحتو ى على حوالى عشرة أضعاف هذا العدد. يوجد حوالى 30,000 شعرة فى لحية الرجل وحوالى 100,000 شعرة فى فروة رأس الشخص المتوسط.

لا يختلف كثافة الشعر كثيرًا من شخص لآخر أو حتى بين الجنسين؛ فى الواقع، هى متشابهة تقريبًا لدى البشر والشمبانزى والغوريلا. تعود الفروق فى مظهر الشعر بشكل رئيسى إلى الاختلافات فى الملمس وا لتصبغ.

ليس كل الشعر متشابهًا، حتى على نفس الشخص. على مدار ح ياتنا، ننمو ثلاثة أنواع من الشعر: الشعر الزغبى، شعر الزغب، والشعر ا لنهائى. الشعر الزغبى)لانوجو[19](هو شعر ناعم وغير مصبوغ يظهر على ا لجنين فى الأشهر الثلاثة الأخيرة من التطور. بحلول وقت الولادة، يتم ا ستبدال معظم هذا الشعر بشعر ناعم وشاحب مشابه يسمى شعر الزغ ب.[20] يشكل شعر الزغب حوالى ثلثى شعر النساء، وعُشر شعر الرجال، وكل شعر الأطفال باستثناء الحواجب والرموش وشعر فروة الرأس.

الشعر النهائى هو أطول وأكثر خشونة، وعادة ما يكون أكثر كثافة

[19] لان = صوف ناعم، صوف

[20] فيلوس = صوف خشن

تقلص الشعر)piloerection(. فى الثدييات الأخرى، تحبس طبقة عا زلة من الهواء الدافئ بجانب الجلد أو تجعل الحيوان يبدو أكبر وأقل عر ضة للخطر من عدو محتمل. فى البشر، تسحب الجريبات إلى وضع ع مودى وتسبب "قشعريرة الجلد"، لكنها لا تؤدى أى وظيفة مفيدة.

ملمس ولون الشعر

لون الشعر ناتج عن حبيبات الصبغة فى خلايا القشرة. يعتمد بنسبة تصل إلى 97% على الوراثة، لكنه لا يتبع نمطًا بسيطًا أو متوقعًا من ألو ان شعر الوالدين. يتحكم فيه ما لا يقل عن 124 موقعًا جينيًا—بعضها يرمز مباشرة لإنزيمات تصنيع الميلانين، فى حين تؤثر جينات أخرى ع لى حركة وبقاء وتعبير الخلايا المنتجة للصبغة. هذا مثال جيد على الورا ثة متعددة الجينات الموضحة فى الفصل 4)القسم 4.4د(.

ينتج الشعر الأسود والبنى عن نسب مختلفة من الإيوميلانين الأسود والبنى. الشعر الأشقر لا يحتوى على الإيوميلانين الأسود ويحتوى فقط على كمية صغيرة من الإيوميلانين البنى. الشعر الأحمر ناتج عن مزيج من الإيوميلانين البنى والفيو ميلانين. الشعر الرمادى والأبيض ينتج ع ن ندرة الميلانين ووجود الهواء فى النخاع.
يتغير لون الشعر مع التقدم فى العمر، خاصة من الطفولة إلى البلوغ ثم الشيب فى سن الشيخوخة. يرتبط ملمس الشعر باختلافات فى ال شكل العرضى)الشكل 6.9(—الشعر المستقيم دائرى، الشعر المموج بيضاوى، والشعر المجعد بإحكام مسطح نسبيًا)شبيه بالشريط(.

نمو وتساقط الشعر

يمر كل جريب شعرى بثلاث مراحل تطورية تُسمى دورة الشعر. فى أى وقت معين، يكون حوالى 90% من بصيلات فروة الرأس فى مرحلة نمو تُسمى الأناجين.[22] تتكاثر الخلايا الجذعية فى نتوء الشعر، ويتعمق الجريب، وينمو الشعر فى الطول خلال هذه الفترة. تستمر مرحلة الأنا جين حوالى 6 إلى 8 سنوات لأى جريب معين. يلى ذلك الكاتاجين،[23] حيث يتوقف الانقسام الخلوى، وينكمش الجريب، ويموت الشعر وى فقد تثبيته. يصبح الشعر شعرًا ناديًا، سُمى بذلك بسبب العقدة الكير اتينية الصلبة فى قاعدته. يمكن سحب الشعر النادى بسهولة عند تم شيط الشعر، ويمكن الشعور بالعقدة الصلبة فى النهاية. تستمر مرحلة الكاتاجين حوالى 2 إلى 3 أسابيع، ثم تليها مرحلة التيلوجين[24] التى ير تاح فيها الجريب لمدة 1 إلى 3 أشهر.
ثم يبدأ العملية من جديد، بدءًا من طور التنامى)الأناغين(ونمو شعر جديد، غالبًا جنبًا إلى جنب مع الشعر القديم المتصلب. نفقد من 50 إلى 100 شعرة من فروة الرأس يوميًا، ولكن لحسن الحظ، فإن البصيلات غير متزام نة، لذلك لا نفقد كل شعرنا دفعة واحدة.
ينمو شعر فروة الرأس بأسرع معدل من فترة المراهقة وحتى الأر بعينيات، بمعدل حوالى 1 ملم كل 3 أيام)10–18 سم فى السنة(. بعد ذلك، يكون نسبة متزايدة من البصيلات فى مرحلتى الكاتاچين والتيل وجين بدلاً من طور التنامى النامى. كما تنكمش البصيلات وتبدأ فى إ نتاج شعر رقيق)شعر فيلوس(بدلاً من الشعر السميك النهائى. يُسم ى ترقق الشعر أو الصلع بـالثعلبة 25)AL-oh-PEE-she-uh(. يحد ث بدرجات متفاوتة فى كلا الجنسين وقد يزداد سوءًا بسبب المرض، سوء التغذية، الحمى، التوتر العاطفى، الإشعاع، أو العلاج الكيميائى. و مع ذلك، فى الغالبية العظمى من الحالات، هو ببساطة مسألة تقدم فى العمر.

---

[21] بيلو = شعر
[22] أنا = أعلى؛ جين = بناء، إنتاج
[23] كاتا = أسفل
[24] تيلو = نهاية
[25] ثعلبة = جرب الثعلب

ملون. يشكل الحواجب والرموش ويغطى فروة الرأس؛ بعد البلوغ، يشكل أيضًا شعر الإبط والعانة، وجميع شعر الوجه، وبعض شعر الجذع والأطراف.
تتراوح أقطار الشعيرات من حوالى 17 إلى 180 ميكرومتر؛ وهذا يتفاوت حسب الوراثة، الأصل، العمر، ومواقع الجسم، ويتغير مع الط قس. أكبر الأقطار تكون فى شعر الحراسة للرموش، الحواجب، والأن ف. الأشخاص من أصل آسيوى لديهم شعر أكثر سمكًا من أولئك من أ صل أوروبى أبيض، والأشخاص من أصل أفريقى أسود لديهم شعر أك ثر سمكًا من ذلك.

هيكل الشعرة والجريب

الجزء من الشعرة فوق الجلد يسمى الجذع، وكل ما هو تحت السطح هو الجذر. يخترق الجذر بعمق فى الأدمة أو تحت الأدمة وينتهى بتو سع يسمى البصلة. الخلايا الحية الوحيدة فى الشعرة تكون فى وحول البصلة. تنمو البصلة حول برعم من النسيج الضام الوعائى يسمى الح ليم الجلدى، الذى يوفر للشعرة مصدرها الوحيد للتغذية. فوق الحليم م باشرة توجد منطقة من الخلايا النشطة انقساميًا، مصفوفة الشعر، و هى مركز نمو الشعر. جميع الخلايا فوقها ميتة.

فى المقطع العرضى، يكشف الشعر عن ما يصل إلى ثلاث طبقا ت. من الداخل إلى الخارج، هذه هى النخاع، القشرة، والطبقة الخارجية)الكيوتيكل(. النخاع هو نواة مكونة من خلايا مرتبة بشكل غير محكم و مساحات هوائية. وهو أكثر وضوحًا فى الشعر السميك مثل شعر الحا جبين، لكنه أضيق فى الشعر متوسط السماكة وغائب فى الشعر الأر ق فى فروة الرأس وأماكن أخرى. تشكل القشرة معظم حجم الشعر. و تتكون من عدة طبقات من الخلايا الكيراتينية الطويلة التى تظهر مكع بة إلى مسطحة فى المقاطع العرضية.
الطبقة الخارجية)الكيوتيكل(تتكون من طبقات متعددة من الخلايا الر قيقة المتقشرة التى تتداخل مع بعضها البعض مثل بلاط السقف مع حوافها الحرة موجهة إلى الأعلى)انظر الصورة الافتتاحية لهذا الفصل(. الخلايا التى تبطن الجريب تشبه البلاط الموجه فى الاتجاه المعاكس. تتشابك مع قشور الكيوتيكل وتقاوم سحب الشعر. عندما يُسحب ال شعر، تأتى بعض خلايا الجريب من هذه الطبقة معه. كما تساعد الط بقة المتقشرة فى الحفاظ على تباعد الشعر حتى لا يتشابك معًا.

الجريب هو أنبوب مائل يحتوى على جذر الشعر. له طبقتان رئ يسيتان: غلاف جذرى طلائى وغلاف جذرى نسيجى ضام. الغلاف الجذر ى الطلائى هو امتداد للبشرة؛ يتكون من طهارة حرشفية متعددة الط بقات ويقع مباشرة بجانب جذر الشعر. نحو الطرف العميق للجريب، يتسع ليشكل نتوءًا، وهو مصدر للخلايا الجذعية لنمو الجريب. غلاف ا لجذر النسيجى الضام، المشتق من الأدمة والمكون من نسيج ضام كو لاجينى، يحيط بالغلاف الطلائى وهو أكثر كثافة قليلاً من الأدمة المجاو رة.

مرتبط بالجريب ألياف عصبية وعضلية. الألياف العصبية المسما ة مستقبلات الشعر تحيط بكل جريب وتستجيب لحركات الشعر. يم كنك أن تشعر بتأثيرها عن طريق تحريك شعرة واحدة بدقة بدبوس أو بتمرير إصبعك برفق فوق شعر ساعدك دون لمس الجلد. لكل شعرة عضلة واقفة، وهى حزمة من خلايا العضلات الملساء تمتد من ألياف ا لكولاجين فى الأدمة إلى غلاف الجذر النسيجى للجريب)انظر الأشكال 6.1 و6.8أ(. استجابةً للبرد أو الخوف أو اللمس أو منبهات أخرى، يح فز الجهاز العصبى الودى العضلة الواقفة على الانقباض، مما يجعل ال شعر يقف ويجعد الجلد فى مناطق مثل الصفن والهالة. تُسمى هذه ا لاستجابة



الشكل 6.9 أساس لون و ملمس الشعر. لاحظ الشكل العرضى الدائرى للشعر المستقيم)أ، ب(مقارنةً بالشكل الأكثر تسطحًا للشعر المموج)ح، د(. كما لاحظ نسب الصبغات فى القشرة بالنسبة إلى لون الشعر.

أى من طبقات الشعر الموضحة هنا تتوافق مع القشور التى تظهر فى صورة افتتاح هذا الفصل؟

أ-د: جو ديغرانديس/كين سالادين

من الأكثر فائدة أن نتبع نهجًا مقارنًا لهذا السؤال وننظر فى الأغراض التى يخدمها الشعر فى أنواع الثدييات الأخرى.

معظم شعر جذع الإنسان وأطرافه يُفسر على الأرجح على أنه بقايا تطورية، مع وظيفة حالية قليلة. بلا شك، كان شعر الجسم يخدم فى تدفئة أسلافنا ما قبل التاريخ، لكن فى البشر المعاصرين فهو قليل جدًا. ومع ذلك، فإن تحفيز مستقبلات الشعر ينبه الناس إلى الطفيليات التى تزحف على الجلد، مثل البراغيث والقراد. وبالتالى، نحن أقل عرضة لأن نصاب بالطفيليات دون علمنا.

عادةً ما يكون فروة الرأس هى المكان الوحيد الذى يكون فيه الشعر كثيفًا بما يكفى للاحتفاظ بالحرارة. فقدان الحرارة من فروة الرأس الصلعاء يمكن أن يكون كبيرًا وغير مريح إلى حد كبير. الدماغ يتلقى إمدادًا غنيًا بالدم الدافئ، ومعظم فروة الرأس تفتقر إلى طبقة دهنية عازلة. تنتقل الحرارة بسهولة عبر عظام الجمجمة وتفقد إلى الهواء المحيط. بالإضافة إلى ذلك، بدون الشعر لا يوجد ما يكسر الريح ويمنعها من حمل الحرارة بعيدًا. كما يحمى الشعر فروة الرأس من حروق الشمس، حيث أن فروة الرأس معرضة مباشرة لأشعة الشمس. قد تكون هذه الأسباب التى جعلت البشر يحتفظون بشعر كثيف على رؤوسهم بينما فقدوا معظم الشعر من بقية الجسم.

العُقد والبقع من الشعر، أحيانًا بألوان متباينة، مهمة فى الثدييات للإعلان عن النوع والعمر والجنس والهوية الفردية. بالنسبة لأعضاء النوع البشرى الأقل اعتناءً بمظهرهم، قد يلعب شعر الرأس والوجه دورًا مشابهًا. على سبيل المثال، يمكن للشعر الذى ينمو بلا حدود على فروة رأس الرجل ولحيته أن يوفر تباينًا لافتًا للانتباه مع وجه يكاد يكون خاليًا من الشعر. إنه يخلق علامة تعريف مرئية على الفور من مسافة بعيدة.

اللحية وشعر العانة وتحت الإبطين تدل على النضج الجنسى وتساعد فى نقل الروائح الجنسية. سنواصل التفكير فى ذلك

الصلع النمطى)الثعلبة الأندروجينية(هو الحالة التى يفقد فيها الشعر بشكل غير متساوٍ عبر فروة الرأس بدلاً من ترققه بشكل موحد. ينتج عن مزيج معقد من الوراثة متعددة الجينات، والهرمونات)الأندروجينات(، والتأثيرات البيئية المذكورة سابقًا. وهو وراثى بنسبة تتراوح بين 50% إلى 80%. يأتى التأثير الأقوى من جين مستقبل الأندروجين على الكروموسوم X، لكن على الأقل 12 جينًا آخر مرتبطًا بالكروموسوم X و112 جينًا جسديًا تؤثر أيضًا عليه. فى الذكور المهيئين وراثيًا، يُستبدل الشعر النهائى على فروة الرأس بشعر رقيق)شعر فيلوس(، يبدأ من قمة الرأس ثم ينتشر إلى الجانبين. تظهر الإناث الصلع النمطى فقط إذا كانت مستويات الأندروجين لديهن مرتفعة بشكل غير طبيعى)على سبيل المثال، بسبب ورم فى الغدة الكظرية، المصدر الرئيسى للأندروجينات لدى الأنثى(.

الشعر الزائد أو غير المرغوب فيه فى المناطق التى لا تكون عادةً شعرية، خاصةً عند النساء والأطفال، يُسمى الشعرانية[26]. يميل إلى الانتشار فى العائلات وعادةً ما ينتج عن أورام المبيض التى تسبب التذكير أو فرط إفراز التستوستيرون من قشرة الغدة الكظرية. غالبًا ما يرتبط بمرحلة انقطاع الطمث.

على عكس المفاهيم الخاطئة الشائعة، لا يستمر نمو الشعر والأظافر بعد وفاة الشخص، ولا يجعل قص الشعر نموه أسرع أو أكثر كثافة، ولا يمكن للضغط النفسى أن يجعل الشعر يتحول إلى اللون الأبيض بين عشية وضحاها.

وظائف الشعر

بالمقارنة مع الثدييات الأخرى، فإن قلة الشعر النسبية لدى البشر أمر غير معتاد لدرجة تثير السؤال: لماذا لدينا أى شعر على الإطلاق؟ ما الغرض منه؟ هناك إجابات مختلفة لأنواع الشعر المختلفة؛ علاوة على ذلك، بعض هذه الإجابات قد لا تكون منطقية إذا اقتصرنا على المجتمعات الصناعية حيث يعمل الحلاقون ومصففو الشعر على تغيير الحالة الطبيعية للشعر.

[26] الشعر الكثيف = الشعر الكثيف

حول هذا فى مناقشة لاحقة عن غدد العرق الأبوكرينية، التى يضيف توزيعها ووظيفتها أدلة مهمة لدعم هذه النظرية.

شعر الحراسة السميك أو **vibrissae**)فى-بريس-إى(، يحمى فتحا ت الأنف وقنوات الأذن ويمنع دخول الجسيمات الغريبة بسهولة. تحم ى الرموش وردة الفعل الوميضى العين من الغبار والحطام المنقول بالرياح. كما يبدو أن رموش البشر والثدييات الأخرى مهيأة تمامًا لتقل يل تدفق الهواء عبر سطح العين، مما يقلل من التبخر والجفاف. فى ا لظروف العاصفة أو الممطرة، يمكننا أن نضيق العين بحيث تحمى الر موش العينين أكثر، ولكن دون أن تعيق رؤيتنا تمامًا.

غالبًا ما يُعتقد أن الحواجب تمنع العرق أو الحطام من دخول العي نين، لكن هذا يبدو ضئيل الأثر. إذا كان هذا هو دورها، فهى تقوم به ب شكل سيء. من المرجح أن وظيفتها الرئيسية هى تعزيز تعابير الوجه. حركات الحواجب وسيلة مهمة للتواصل غير اللفظى بين البشر فى جم يع الثقافات، ولدينا حتى عضلات *frontalis* خاصة لهذا الغرض. التع بير بالحواجب ليس فريدًا للبشر؛ حتى القرود والشمبانزى تستخدم وم يض الحواجب السريع لتحية بعضها البعض، وتأكيد الهيمنة، وفض ا لنزاعات.

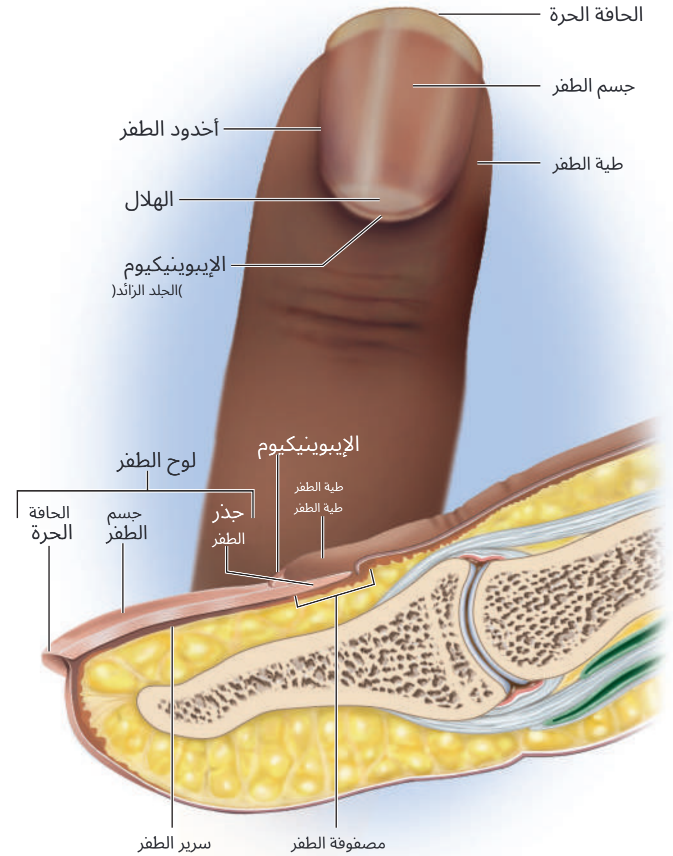
٦.٢ب الأظافر

الأظافر فى اليدين والقدمين هى مشتقات شفافة وصلبة من الطبقة ا لقرنية. تتكون من خلايا رقيقة ميتة ومتقشرة، مترا‌صة بإحكام ومليئة بألياف متوازية من الكيراتين الصلب. تمتلك معظم الثدييات مخالب، فى حين أن الأظافر المسطحة هى إحدى الخصائص المميزة للبشر وا لرئيسيات الأخرى. تعمل الأظافر المسطحة كـ "أدوات" قوية مكرنة يم كن استخدامها للعناية بالنظافة، وتفكيك الطعام، وغيرها من العمليا ت. بالإضافة إلى ذلك، تسمح بوجود أطراف أصابع أكثر لحمية وحسا سية. تخيل لمس بعض حبات الملح على الطاولة. الأظافر، من خلال توفير قوة مضادة أو مقاومة من الجانب الآخر، تعزز حساسية الشخ ص تجاه مثل هذه الأشياء الصغيرة.

الجزء الصلب من الظفر هو صفيحة الظفر)الشكل 6.10(، والتى تشمل الحافة الحرة التى تتدلى فوق طرف الإصبع أو القدم؛ و جسم الظفر، وهو الجزء المرئى الملتصق من الظفر؛ و جذر الظفر، الذى يمتد باتجاه القرب تحت الجلد المغطى.
يرتفع الجلد المحيط قليلاً فوق الظفر كـ طية الظفر، مفصولة عن حا فة صفيحة الظفر بواسطة أخدود الظفر. يتجمع الأوساخ والبكتيريا ف ى الأخدود والمساحة تحت الحافة الحرة ويتطلبان اهتمامًا خاصًا عند ا لفرك لأداء الواجب فى غرفة العمليات أو الحضانة.

الجلد الموجود تحت صفيحة الظفر هو سرير الظفر؛ ويُسمى طه اره تحت الظفر[27])HIPE-o-NICK-ee-um(. فى النهاية القرى بة للظفر، يزداد سمك الطبقة القاعدية لتشكل منطقة نمو تسمى م صفوفة الظفر. الانقسام الخلوى فى المصفوفة مسؤول عن نمو الظ فر—حوالى 1 مم/أسبوع فى أظافر اليد و بمعدل أبطأ قليلاً فى أظافر ا لقدم. سمك المصفوفة يحجب الأوعية الدموية الجلدية تحتها، وهذا ه و السبب فى ظهور هلال أبيض معتم، الهلال[28])LOON-yule(، غال بًا فى النهاية القريبة للظفر. منطقة ضيقة من الجلد الميت، الجلد الزا ئد أو تحت الظفر العلوى[29])EP-o-NICK-ee-um(، عادة ما تتدل ى فوق هذه النهاية من الظفر.

[27] *hypo* = تحت؛ *onych* = طفر
[28] *lun* = قمر؛ *ule* = صغير
[29] *ep* = فوق؛ *onych* = طفر



APR الشكل 6.10 تشريح طفر اليد.

يمكن أن يكون مظهر أطراف الأصابع والأظافر ذا قيمة فى التشخ يص الطبى.تصبح أطراف الأصابع منتفخة أو*مضخمة* كرد فعل لنقص الأكسجين المزمن فى الدم الناتج عن حالات مثل عيوب القلب الخلق ية ومرض الانسداد الرئوى المزمن.يمكن أن تنعكس النقص الغذائى ع لى مظهر الأظافر. على سبيل المثال، يمكن أن يسبب نقص الحديد أ ن تصبح الأظافر مسطحة أو مقعرة)على شكل ملعقة(بدلاً من أن تكو ن محدبة.
على عكس الاعتقاد الشائع، لا يؤثر إضافة الجيلاتين إلى النظام الغذائ ى على نمو الأظافر أو صلابتها.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

7. ما الفرق بين الشعر الزغبى)الشعر الناعم(والشعر النهائى؟
8. اذكر وظائف حليمة الشعر، ومستقبلات الشعر، وعضلة القائم)ar rector muscle).
9. صف ما يحدث فى مراحل دورة نمو الشعر: الأناغين، الكاتاج ين، والتيلوجين.
10. اذكر بعض النظريات المعقولة لوظائف مختلفة لشعر الحاجبين، والر موش، وفروة الرأس، والمنافذ الأنفية، وتحت الإبط.
11. عرف أو وصف صفيحة الظفر، وطية الظفر، الإيبو نيكيوم)epionychium(، الهيبونيكيوم)hyponychium(، ومصفوفة الظفر.

غدد الإبط الأبكرينية نادرة أو غائبة عند العديد من شرق آسيويين، ربما لأن أسلافهم، الذين عاشوا فيما يُعرف الآن بسيبيريا، لم يكن لديهم ح اجة كبيرة للتعرق فى مثل هذا المناخ البارد. يمكن تتبع غياب هذه الغ دد إلى طفرة حدثت قبل ما لا يقل عن 40,000 سنة. تقود قنوات الغ دد الأبكرينية إلى بصيلات الشعر القريبة بدلاً من أن تفتح مباشرة على سطح الجلد. للأسف، الغدد الأبكرينية مسماة تسمية خاطئة لأنها لا تستخدم طريقة الإفراز الأبكرينى؛ بل تستخدم الإفراز عبر الإخراج الخلو ى)exocytosis(، كما تفعل الغدد الإكرينية. الجزء الإفرازى من الغدة ا لأبكرينية، مع ذلك، له تجويف أكبر بكثير من ذلك الموجود فى الغدة ا لإكرينية، لذا تستمر هذه الغدد فى أن تُسمى أبكرينية لتمييزها وظيفياً ونسيجياً عن النوع الإكرينى. العرق الأبكرينى أكثر كثافة ويميل إلى اللو ن الحليبى مقارنة بالعرق الإكرينى لأنه يحتوى على المزيد من الأحما ض الدهنية.

الغدد العرقية الأبكرينية هى غدد رائحة تستجيب بشكل خاص لل توتر والتحفيز الجنسى. لا تكون نشطة حتى سن البلوغ، وفى النساء فى سن الإنجاب، تتضخم وتتقلص بالتزامن مع دورة الحيض. تشير ه ذه الحقائق، بالإضافة إلى الأدلة التجريبية، إلى أنها تفرز *الفيرومونات الجنسية* — وهى مواد كيميائية تؤثر بشكل دقيق على السلوك الجن سى والفسيولوجيا لدى الآخرين. يبدو أنها تتوافق مع غدد الرائحة التى تتطور فى الثدييات الأخرى عند اقترابها من النضج الجنسى. طازجة

6.3 الغدد الجلدية

نتائج التعلم المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. اذكر نوعين من غدد العرق، ووصف تركيب ووظيفة كل منهما؛

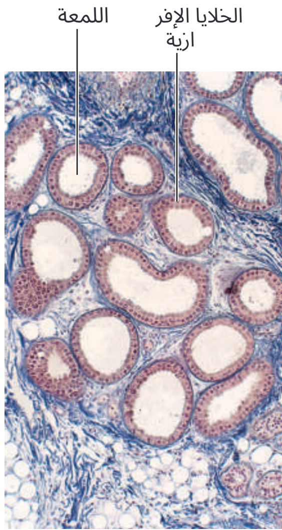
ب. وصف موقع وتركيب ووظيفة الغدد الدهنية والغدد الشمعية؛ و

ح. ناقش الفرق بين الثدى والغدد الثديية، وشرح وظائف كل منه ما على التوالى.

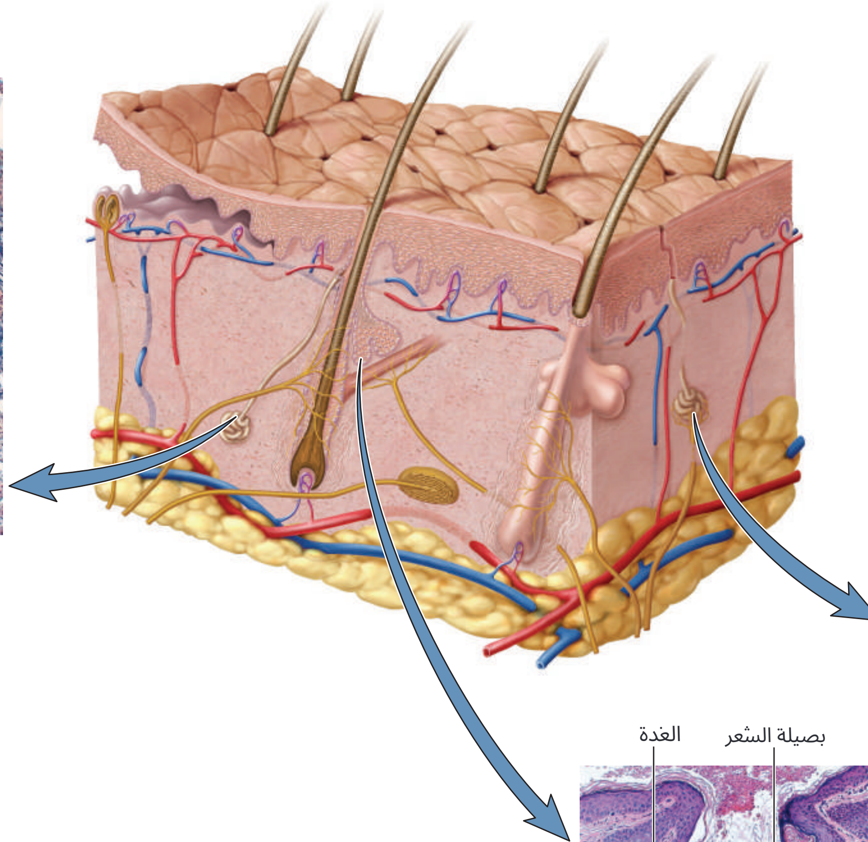
تحتوى البشرة على خمسة أنواع من الغدد: *الغدد العرقية الإكرينية، الغدد العرقية الأبوكرينية الغدد الدهنية، الغدد الشمعية، والغدد الثديية.*

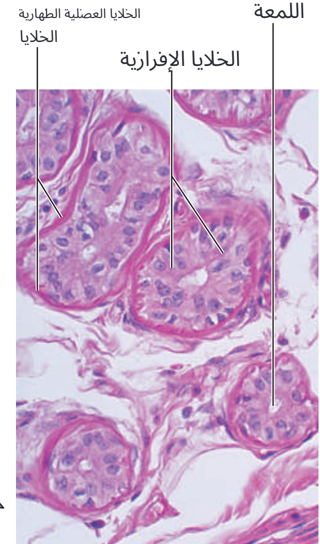
6.3أ الغدد العرقية

الغدد العرقية نوعان: أبكرين وإكرين)قارن الشكل 5.32(. الغدد العرق ية الأبكرينية)الشكل 6.11أ(توجد فى منطقة الأربية، المنطقة الشرج ية، الإبط، والهالة، وفى الذكور الناضجين، فى منطقة اللحية.



أ(الغدة الأبكرينية





ب(الغدة الإكرينية



ح(الغدة الدهنية

الشكل 6.11 الغدد الجلدية.)أ(غدد العرق الأبوكرينية لها لمعة كبيرة وق ناة تنقل إفرازها العطرى إلى جريب الشعر.)ب(غدد العرق الإكرين ية لها لمعة ضيقة نسبيًا وقناة تفتح عبر مسام على سطح الجلد.)ح(الغدد الدهنية تحتوى على خلايا تتحلل بالكامل لتشكل إفرازًا زيتيًا يُطلق فى جريب الشعر.

أ–ح: دينيس ستريت/ماكجرو هيل

فى حالة التعرق الشديد، قد يكون فقدان السوائل من مجرى الدم كبيرً ا لدرجة تسبب صدمة دموية. ومع ذلك، ليس التعرق هو الطريقة الوح يدة التى يفقد بها الجلد الماء. إذ ينتشر مقدار كبير أيضًا بين الكيراتينو سايت ويتبخر من سطح الجلد — وهى عملية تسمى "النضح الجلدى" (cutaneous transpiration).

6.3ب الغدد الدهنية

الغدد الدهنية)sebaceous( )see-BAY-shus(تفرز مادة زيتية تسم ى الزهم)sebum( )SEE-bum(. وهى على شكل قارورة، مع قنوات قصيرة تفتح عادة فى جريب الشعر)الشكل 6.11ح(، على الرغم من أ ن بعضها يفتح مباشرة على سطح الجلد. هذه الغدد هى غدد هولكرين ية ذات تجويف داخلى صغير. يتكون إفرازها من خلايا متحللة يتم اس تبدالها بالانقسام الميتوزى فى قاعدة الغدة.
يحافظ الزهم على الجلد والشعر من الجفاف والتكسر والتشقق. اللمعا ن فى الشعر المصقول جيدًا يرجع إلى الزهم الذى يوزعه فرشاة الشعر. ومن المفارقات أن بعض الناس يبذلون جهودًا كبيرة لغسل الزهم من الجلد، ليعيدوا وضعه بعد ذلك باستخدام كريمات الجلد ومرطبات ال يدين التى لا تحتوى فى الغالب إلا على اللانولين، وهو زهم الأغنام.

6.3ح الغدد الشمعية

الغدد الشمعية)ceruminous( )seh-ROO-mih-nus(هى غدد أبو كرينية معدلة توجد فقط فى قناة الأذن الخارجية. إفرازها الأصفر الشم عى يختلط مع الزهم وخلايا البشرة الميتة ليشكل شمع الأذن، أو "ال سيرومن")cerumen(. وهى غدد أنبوبية بسيطة ملتوية مع قنوات تؤدى إلى بصيلات الشعر أو سطح الجلد فى قناة الأذن.
الشمع يحافظ على مرونة طبلة الأذن، ويجعل القناة مقاومة للماء، ويقتل البكتيريا، ويغلف شعيرات الحماية فى الأذن، مما يجعلها لزجة وأكثر فعالية فى حجب الجسيمات الغريبة من دخول القناة.

6.3د الغدد الثديية

الغددالثديية والثديين *)الثدى(* غالبًا ما يُخطئ فى اعتبارهما شيئًا واحدً ا. ومع ذلك، فإن الثديين موجودان فى كلا الجنسين، وحتى فى الإناث نادرًا ما يحتويان على أكثر من آثار صغيرة من الغدة الثديية. بالمقابل، الغدد الثديية هى الغدد المنتجة للحليب التى تتطور داخل الثدى الأن ثوى أثناء الحمل والرضاعة. وهى غدد عرقية أبكرينية معدلة تنتج إفرازًا أغنى وتنقله عبر القنوات إلى الحلمة لتوصيل أكثر كفاءة إلى الصغار.

يتم مناقشة تشريح ووظائف الغدة الثديية بمزيد من التفصيل فى ال فصل 28.
فى معظم الثدييات، تتشكل صفان من الغدد الثديية على طول خطوط تسمى *الحواف الثديية* أو *خطوط الحليب*. استغنى الرئيسيا ت عن جميع هذه الغدد ما عدا اثنتين. ومع ذلك، يطور بعض الأشخا ص من كلا الجنسين حلمات أو أثداء إضافية على طول خط الحليب أ سفل الأثداء الأساسية. فى العصور الوسطى وأمريكا الاستعمارية، اس تُخدم هذا الحالة، المسماة *تعدد الحلمات*[35]، لتوريط النساء واتهامهن بالسحر.
تم تلخيص غدد الجلد فى الجدول 6.2.

عرق الأبوكرين لا يمتلك بالضرورة رائحة كريهة؛ فى الواقع، يُعتبر جذا بًا أو مثيرًا فى بعض الثقافات، حيث يُعد جزءًا من التودد كما هو العط ر الصناعى فى ثقافات أخرى.
الرائحة الكريهة للجسم تُسمى *برومهيدروز*.[30]أحيانًا تشير إلى اضطرا ب أيضى، لكنها غالبًا ما تعكس نقص النظافة.

تمتلك العديد من الثدييات غدد عرقية أبكرينية مرتبطة بخصيلا ت شعر متخصصة. فى البشر، توجد الغدد الأبكرينية بشكل رئيسى فى المناطق المغطاة بشعر العانة، وشعر الإبط، واللحية. وهذا يدعم تفسير أنها غدد فِرومون. يعمل الشعر على احتجاز الإفراز العطرى وتن ظيم معدل تبخره من الجلد. لذلك، يبدو أنه ليس من قبيل الصدفة أن معظم وجوه النساء تفتقر إلى كل من الغدد العرقية الأبكرينية واللحية .

الغدد العرقية الإكرينية)الميروكينية( )EK-rin( )الشكل 6.11ب(موزعة على نطاق واسع فى جميع أنحاء الجسم، لكنها تكون وفيرة بش كل خاص على راحتى اليدين، وأخمصى القدمين، والجبهة. وظيفتها ا لأساسية هى تبريد الجسم. يؤدى ارتفاع درجة الحرارة إلى تنشيط التعر ق عبر الجهاز العصبى الودى. ثم، بسبب السعة الحرارية العالية للماء (انظر القسم 2.2أ(، يحمل تبخر العرق كمية كبيرة من حرارة الجسم، مم ا يبرد الجسم. كل غدة هى غدة أنبوبية بسيطة تحتوى على لفة ملتوية فى الأدمة أو تحت الأدمة، وقناة متعرجة أو ملتوية تؤدى إلى مسام الع رق على سطح الجلد. تبطن القناة بطبقة طلائية مكعبة متعددة الطبقا ت فى الأدمة وبالكيراتينوسايت فى البشرة.

فى كل من الغدد العرقية الأبوكرينية والإكرينية، توجد خلايا عضلى ة طلائية متخصصة)myoepithelial(بين الخلايا الإفرازية فى الطرف العميق للغدة.)يمكن رؤية مثل هذه الخلايا فى غدة الثدى فى الشكل 28.9د.(تمتلك هذه الخلايا خصائص انقباضية مشابهة لتلك الموجود ة فى العضلات الملساء. يحفزها الجهاز العصبى الودى على الانقباض، مما يضغط قاعدة الغدة ويدفع العرق إلى الأعلى عبر القناة — خاصة فى حالات ارتفاع الحرارة، أو التوتر العصبى، أو الإثارة.

يبدأ إنتاج العرق فى الجزء الإفرازى العميق من الغدة. يتسرب سا ئل خالٍ من البروتين من الشعيرات الدموية إلى تجويف الغدة. يتم إعا دة امتصاص معظم كلوريد الصوديوم من المرشح أثناء مروره عبر القنا ة، لكن بعضه يبقى، إلى جانب البوتاسيوم، واليوريا، وحمض اللاكتيك، والأمونيا. كما يتم إفراز بعض الأدوية فى العرق. وهكذا، تفرز الغدد الع رقية الإكرينية بعض الفضلات نفسها التى تفرزها الكلى. مساهمة كل غدة عرقية فردية فى ذلك ضئيلة جداً، لكن هناك 3 إلى 4 ملايين غدة عرقية إكرينية فى جلد البالغين، بكتلة إجمالية تقارب كتلة كلية واحدة.

يتكون العرق من حوالى 99% ماء وله درجة حموضة تتراوح بين 4 و 6، مما يساهم فى ما يُعرف بـ "الطبقة الحمضية" التى تمنع نمو البكتير يا على الجلد. عادةً ما يتبخر العرق بسرعة تقارب سرعة إنتاجه، لذلك لا يُلاحظ؛ وهذا ما يسمى بالتعرق غير الملحوظ)insensible perspirati on(. لكن فى حالات مثل الحرارة، أو التمرين، أو الصدمة ال دموية، يُنتج العرق بكميات أكبر ويرطب الجلد بشكل ملحوظ؛ وهذا ما يسمى بالتعرق الطاهر)diaphoresis( )DY-uh-foe-REE-sis(. عادةً ما يبلغ التعرق غير الملحوظ حوالى 500 مل/يوم، لكن فى حالة التعرق الظ اهر، يمكن للشخص أن يفقد لترًا أو أكثر من العرق فى الساعة.

---

[33]*سيب* = دهن، شحم؛ *أسيوس* = امتلاك
[34]*cer* = شمع
[35]*بولى* = كثير؛ *ذيلى* = حلمات

[30]*بروم* = رائحة كريهة؛ هيدروس = عرق
[31]*مايو* = عضلة
[32]*ديا* = عبر؛ *فوريسيس* = حمل

أطول فترة تعرض للأشعة فوق البنفسجية فى الحياة)انظر التعمق 6.
3(. ومع ذلك، فإن الشعبية غير الحكيمة للتسمير قد تسببت فى زياد
ة مقلقة فى سرطان الجلد بين الشباب. سرطان الجلد هو واحد من أ
كثر أنواع السرطان شيوعًا، لكنه أيضًا من أسهلها علاجًا وله من أعلى م
عدلات البقاء على قيد الحياة عند اكتشافه وعلاجه مبكرًا.

طبق ما تعرفه ◀◀◀
سرطان الجلد نادر نسبيًا لدى الأشخاص ذوى البشرة الداكنة.
بخلاف الاختلافات المحتملة فى السلوك، مثل التسمير المتعمد
الأقل، لماذا تعتقد أن هذا هو الحال؟

هناك ثلاثة أنواع من سرطان الجلد مسماة حسب خلايا البشرة ال
تى تنشأ منها: *سرطان الخلايا القاعدية*، *سرطان الخلايا الحرشفية*، و
الميلانوما. كما يتم تمييز الأنواع الثلاثة عن بعضها البعض من خلال م
ظهر الآفات[36])مناطق إصابة الأنسجة(.
سرطان الخلايا القاعدية[37])الشكل 6.12أ(هو النوع الأكثر شيوعًا.
وهو الأقل فتكًا لأنه نادرًا ما ينتشر، ولكن إذا تم تجاهله، يمكن أن ى
شوه الوجه بشدة. ينشأ من خلايا الطبقة القاعدية ويغزو فى النهاية الأد
مة. على السطح، تظهر الآفة أولاً ككتلة صغيرة لامعة. مع تكبر الكتلة،
غالبًا ما تتطور إلى انخماص مركزى وحافة لؤلؤية محببة.

سرطان الخلايا الحرشفية)الشكل 6.12ب(ينشأ من الكيراتينو
سايتات فى الطبقة الشوكية. عادةً ما تظهر الآفات على فروة الرأس، ا
لأذنين، الشفة السفلى، أو ظهر اليد. لها مظهر مرتفع، محمر، ومتقشر
، وتتطور لاحقًا إلى قرحة مقعرة ذات حواف مرتفعة.
فرصة الشفاء جيدة مع الكشف المبكر والإزالة الجراحية، ولكن إذا تم
تجاهله أو لم يُلاحظ، فإن هذا السرطان يميل إلى الانتشار إلى العقد ا
للمفاوية وقد يكون قاتلًا.
الميلانوما)الشكل 6.12ج(هى سرطان جلدى ينشأ من الخلايا ال
صباغية)الميلانوسايت(. تمثل أقل من 5% من سرطانات الجلد، لكنه
ا سادس أكثر أنواع السرطان تشخيصًا فى الولايات المتحدة وهى شد
يدة العدوانية. يمكن علاجها جراحيًا إذا تم اكتشافها مبكرًا، ولكن إذا ان
تشرت)وهو ما يحدث بسرعة(فإنها لا تستجيب للعلاج الكيميائى. كا
ن التشخيص لسرطان الميلانوما المنتشر عمومًا سيئًا، حيث يعيش ا
لمريض المتوسط فقط 6 أشهر بعد التشخيص ولا ينجو سوى 27%
لمدة 5 سنوات. ومع ذلك، هناك أمل ينبثق من العلاجات المستهدفة
الجديدة للميلانوما. أحد هذه العلاجات يستخدم النظير المشع الرينيوم
-188 (^{188}Re) المرتبط بهرمون تحفيز الخلايا الصباغى
ة)MSH(. يرتبط MSH بشكل انتقائى بمستقبلات الخلايا الصباغية، م
ما يؤدى إلى تراكمه بشكل انتقائى فى الخلايا التى تشكل الميلانوما ال
منتشرة. ^{188}Re يصدر جسيمات ألفا، وهى إشعاعات مؤينة ق
وية للغاية قاتلة لخلايا الورم. ومع ذلك، فإن جسيمات ألفا كبيرة وثقيل
ة جدًا بحيث لا تخترق بعيدًا، وبالتالى فهى ضارة نسبيًا بالخلايا السليم
ة المحيطة بالورم. ^{188}Re، المرتبط ببيتيدات أخرى، قد ا
ستخدم أيضًا لعلاج سرطان الكبد وهو فى التجارب السريرية لعلاج سر
طان البنكرياس.
أكبر عوامل الخطر للإصابة بالميلانوما هى الأصل العرقى، لون البشرة،
الجنس، التاريخ العائلى للمرض، والسلوك)التعرض للشمس(. تختلف ن
سبة الإصابة بالميلانوما بشكل كبير حسب الأصل العرقى ولون البشرة. ت
ظهر بيانات حديثة من الولايات المتحدة أنه لكل 100,000 شخص، هناك
28.0 حالة بين البيض غير اللاتينيين، 5.6 بين الأمريكيين الأصليين، 4.6
بين البيض اللاتينيين، 1.3 بين الآسيويين، و1.0 بين السود. فى جميع الم
جموعات، تكون معدلات الإصابة والوفيات أعلى بشكل ملحوظ بين الذكور
مقارنة بالإناث. حوالى ثلث حالات الميلانوما بين الذكور تنتج

[36] *lesio* = إصابة
[37] *carcin* = سرطان؛ *oma* = ورم

TABLE 6.2	الغدد الجلدية
نوع الغدة	**التعريف**
غدد العرق	الغدد التى تنتج العرق
الغدد الإكرينية	غدد العرق التى تعمل فى التبريد بالتبخر؛ موزعة على نطاق واسع على سطح الجسم؛ تفتح بقنوا ت على سطح الجلد
الغدد الأبوكرينية	الغدد العرقية التى تعمل كغدد رائحة؛ توج د فى المناطق المغطاة بالشعر العانى وتحت ا لإبط وشعر الوجه لدى الذكور؛ تفتح بقنواتها فى بصيلات الشعر
الغدد الدهنية	الغدد الزيتية المرتبطة ببصيلات الشعر
الغدد الشمعية	الغدد فى قناة الأذن التى تساهم فى إنتاج ال صملاخ)شمع الأذن(
الغدد الثديية	الغدد المنتجة للحليب الموجودة فى الثديين

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

12. كيف تختلف غدد العرق الإكرينية والأبوكرينية فى التركيب والوظي
فة؟
13. ما هو نوع الغدة الآخر المرتبط ببصيلات الشعر؟ كيف يختلف نمط إ
فرازها عن غدد العرق؟
14. ما الفرق بين الثدى والغدة الثديية؟

اضطرابات الجلد 6.4

نتائج التعلم المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

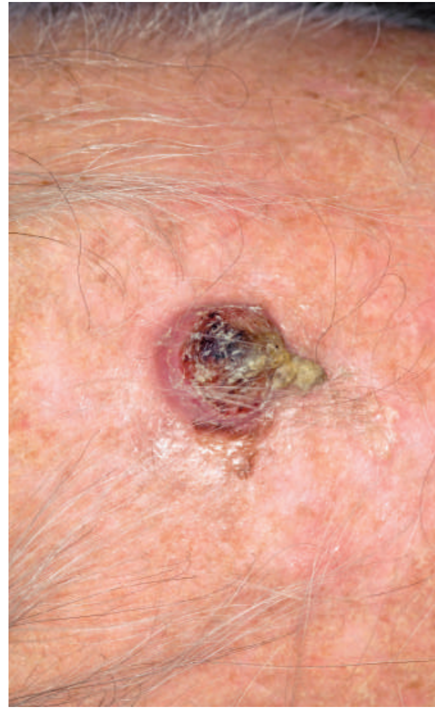
أ. وصف أكثر ثلاثة أنواع شيوعًا من سرطان الجلد؛ و
ب. وصف الفئات الثلاث للحروق والأولويات فى علاج الحروق.

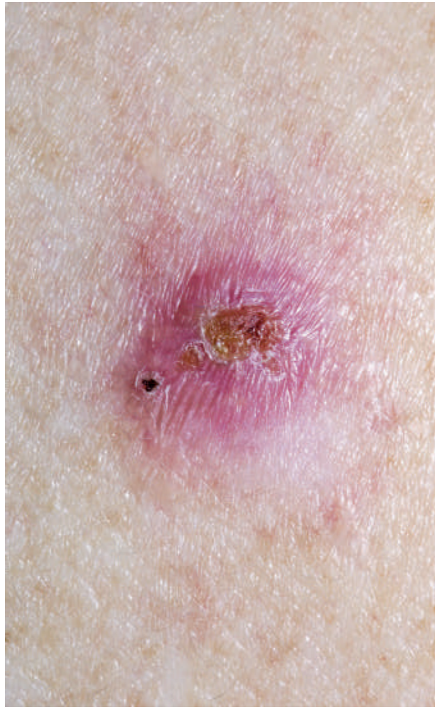
نظرًا لأنها أكثر أعضائنا تعرضًا، فإن الجلد ليس فقط الأكثر عرضة للإ
صابة والأمراض، بل هو أيضًا المكان الذى من المرجح أن نلاحظ فيه أ
ى شىء غير عادى. تصبح أمراض الجلد أكثر شيوعًا مع التقدم فى العم
ر، ويعانى معظم الأشخاص فوق سن السبعين من شكاوى تتعلق بجه
ازهم الجلدى. يتم مناقشة شيخوخة الجلد بشكل أكثر تفصيلًا فى الف
صل 29. يحدث شفاء الجروح والإصابات الأخرى فى الجلد من خلال ا
لعملية الموضحة فى الفصل 5. نركز هنا على اضطرابين شائعين وخط
يرين بشكل خاص: سرطان الجلد والحروق. يتم تلخيص أمراض الجلد
الأخرى بإيجاز فى الجدول 6.3.

٦.٤أ سرطان الجلد

يصيب سرطان الجلد حوالى واحد من كل خمسة أشخاص فى الولايا
ت المتحدة فى مرحلة ما من حياتهم. معظم الحالات ناتجة عن الأشع
ة فوق البنفسجية من الشمس، التى تتلف الحمض النووى وتعطل ح
ينات كابحة للأورام فى خلايا البشرة. ونتيجة لذلك، تحدث معظم الأورا
م فى الرأس والرقبة واليدين، حيث يكون التعرض للشمس أكبر. وهو
أكثر شيوعًا بين ذوى البشرة الفاتحة وكبار السن الذين تعرضوا


)ح(الميلانوما


)ب(سرطان الخلايا الحرشفية


)أ(سرطان الخلايا القاعدية

الشكل 6.12 سرطان الجلد.)أ(سرطان الخلايا القاعدية.)ب(سرطان الخلايا الحرشفية.)ح(الميلانوما.

أى من قواعد ABCDE يمكنك التعرف عليها فى الجزء)ح(؟

أ: ;hxx10289/Shutterstock: د. ب. مارازى/مكتبة صور العلوم/صور ألامى؛ ح: المعهد الوطنى للسرطان)NCI(

تصنف الحروق حسب عمق تأثر الأنسجة.
الحروق من الدرجة الأولى)الشكل 6.13أ(تشمل فقط البشرة وتتميز بالاحمرار، ودمة خفيفة، وألم. تلتئم خلال بضعة أيام ونادراً ما تترك ندوباً. معظم حروق الشمس هى من الدرجة الأولى.
الحروق من الدرجة الثانية)الشكل 6.13ب(تشمل البشرة و جزءاً من الأدمة لكنها تترك على الأقل جزءاً من الأدمة سليماً. لذلك تُعرف الحروق من الدرجة الأولى والثانية أيضاً باسم الحروق ذات السماكة الجزئية. قد يكون الحرق من الدرجة الثانية أحمر، أو بنى فاتح ، أو أبيض، ويكون متقرحاً ومؤلماً جداً. قد يستغرق الشفاء من أسبوع ين إلى عدة أشهر وقد يترك ندوباً. تتجدد البشرة عن طريق انقسام الخ لايا الطهارية فى بصيلات الشعر \وغدد العرق وحول حواف الآفة. الحر وق الشديدة الناتجة عن الشمس والعديد من الحروق الناتجة عن الس خونة هى حروق من الدرجة الثانية.
الحروق من الدرجة الثالثة)الشكل 6.13ح(هى سبب رئيسى للو فاة العرضية. وتسمى أيضًا الحروق ذات السماكة الكاملة لأن البشرة و جميع طبقات الأدمة وغالبًا بعض الأنسجة الأعمق)العضلات والعظام (يتم تدميرها.)يسمى بعض الخبراء الحروق التى تمتد إلى العظم حرو ق الدرجة الرابعة.(نظرًا لعدم بقاء أى جزء من الأدمة، يمكن للجلد أن يتجدد فقط من حواف الجرح. غالبًا ما تتطلب الحروق من الدرجة الثا لثة ترقيع الجلد)انظر التعمق 6.2(. إذا تُركت الحروق من الدرجة الثال ثة لتلتئم من تلقاء نفسها، فقد ينتج عن ذلك تقلص)تليف غير طبيع ى للنسيج الصام(وتشوه.

▶▶▶ طبق ما تعرفه

قد تحاط الحروق من الدرجة الثالثة بمناطق مؤلمة مؤلمة من الحروق م ن الدرجة الأولى والثانية، لكن منطقة الحرق من الدرجة الثالثة ت كون غير مؤلمة. اشرح سبب هذا الغياب للألم.

من جين ورمى يسمى *BRAF*. فى الإناث، *BRAF* لا يبدو أنه يسبب ا لورم الميلانينى، لكنه مرتبط ببعض سرطانات الثدى والمبيض. تُوجد طفرات *BRAF* عادة فى الشامات.
ينشأ حوالى ربع الأورام الميلانينية فقط من الشامات، ولكن من ا لمهم على أى حال التمييز بين الشامة والورم الميلانينى. عادةً ما تكون الشامة ذات لون موحد وحدود منتظمة، ولا يزيد قطرها عن ممحاة ق لم رصاص خشبى جديد)حوالى ٦ ملم(.
إذا أصبحت خبيثة، فإنها تشكل آفة كبيرة مسطحة منتشرة ذات حدو د متعرجة. توصى الجمعية الأمريكية للسرطان بـ "قاعدة ABCDE" لل تعرف على الورم الميلانينى: *A* للتماثل)شكل غير منتظم، على عكس الآفات المستديرة لأنواع أخرى من سرطان الجلد(؛ *B* لعدم انتظام الح دود)الحدود ليست ناعمة بل متموجة أو متعرجة(؛ *C* للون)غالبًا مز يج من البنى والأسود والبيج، وأحيانًا الأحمر والأزرق(؛ *D* للقطر)أكبر م ن ٦ ملم(؛ و*E* للتطور)تغير الحجم أو الشكل أو اللون(. يمكن أن يحد ث الورم الميلانينى أيضًا تحت أظافر اليدين والقدمين، حيث يجب اع تبار وجود منطقة بنية أو سوداء تحت الظفر مصدر قلق.

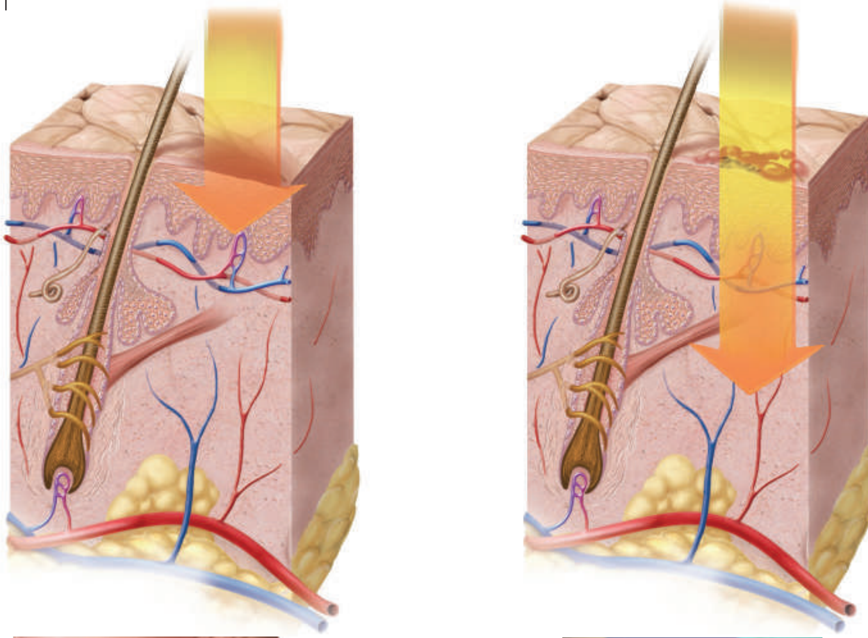
اعتمادًا على نوع السرطان وموقعه)آفة محلية أو انتشار نقيلى(، يتم علاج سرطانات الجلد عن طريق الاستئصال الجراحى، أو العلاج الإ شعاعى، أو تدمير الآفة بالحرارة)الكهرباء الجراحية(أو بالبرودة)الجراحة بالتبريد(.

٦.٤ب الحروق

عادةً ما تسبب الحروق الحرائق، أو انسكاب السوائل فى المطبخ، أو مياه الاستحما م شديدة السخونة، لكنها قد تنتج أيضًا عن أشعة الشمس، أو الإشعاع المؤين، أو ا لأحماض والقواعد القوية، أو الصدمة الكهربائية. تحدث وفيات الحروق بشكل رئى سى بسبب فقدان السوائل، والعدوى، والتأثيرات السامة للنسيج المحترق الميت المعروف باسم eschar)إيسكار(.

حروق ذات سماكة جزئية

حروق كاملة السمك











أ) الدرجة الأولى

ب) الدرجة الثانية

ح) الدرجة الثالثة

الشكل 6.13 الحروق. أ) حرق من الدرجة الأولى، يشمل فقط البشرة. ب) حرق من الدرجة الثانية، يشمل البشرة وجزءًا من الأدمة وغالبًا ما يصاحبه تكون بثور. ح) حرق من الدرجة الثالثة، يمتد عبر كامل الأدمة وغالبًا ما يشمل الأنسجة الأعمق.

أ: ديمترى كوتين/صور آلامى ستوك؛ ب: ثاواتشاى باندب/شترستوك؛ ح: أنوكول مانوتون/شترستوك

إزالتها، التى تسمى إزالة الأنسجة الميتة (debridement) (deh-BREED-ment)[38]، ضرورية للسيطرة على العدوى.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

15. ما أنواع الخلايا المشاركة فى كل نوع من أنواع سرطان الجلد؟
16. ما هو أخطر نوع من سرطان الجلد؟ ما هى علاماته التحذيرية المبكرة؟
17. ما هى الفروقات بين الحروق من الدرجة الأولى والثانية والثالثة؟
18. ما هما الأولويتان الأكثر إلحاحًا فى علاج ضحية الحرق؟ كيف يتم تلبية هذه الاحتياجات؟

[38] de = un; bride = bridle

أهم اعتبارين عاجلين فى علاج مريض الحروق هما تعويض السوائل ومكافحة العدوى. يمكن للمريض أن يفقد عدة لترات من الماء، والإلكتروليتات، والبروتين يوميًا من منطقة الحرق. مع فقدان السوائل من الأنسجة، يتم نقل المزيد منها من مجرى الدم لتعويضها، وينخفض حجم الدم المتداول. قد يفقد المريض ما يصل إلى 75% من بلازما الدم خلال ساعات قليلة، مما قد يؤدى إلى صدمة دموية وتوقف القلب — وهو السبب الرئيسى للوفاة بين مرضى الحروق. يجب إعطاء السوائل عن طريق الوريد لتعويض هذا الفقدان.

قد يحتاج المريض المصاب بحروق شديدة أيضًا إلى آلاف السعرات الحرارية الإضافية يوميًا لتعويض فقدان البروتين ومتطلبات إصلاح الأنسجة. تُعطى المغذيات التكميلية عن طريق الوريد أو عبر أنبوب المعدة.

يتم التحكم فى العدوى من خلال إبقاء المريض فى بيئة معقمة (خالٍ من الجراثيم) وإعطاء المضادات الحيوية. يكون القشرة (eschar) معقمة خلال أول 24 ساعة، لكنها سرعان ما تصاب بالعدوى وقد يكون لها تأثيرات سامة على الجهاز الهضمى، والجهاز التنفسى، وأنظمة أخرى.

الجدول 6.3	**بعض اضطرابات الجهاز الجلدى**
حب الشباب	التهاب الغدد الدهنية، خاصةً عند بداية سن البلوغ؛ حيث يصبح الجريب مسدودًا بخلايا الكيراتين والزهم ويتطور إلى رأس أبيض)كوميدو(يتكون من هذه الخلايا والبكتيريا؛ ويؤدى استمرار التهاب الجريب إلى إنتاج القيح وظهور البثور، وأكسدة الزهم تحول الرأس الأبيض إلى رأس أسود.
التهاب الجلد	أى التهاب فى الجلد، يتميز عادة بالحكة والاحمرار؛ وغالبًا ما يكون التهاب الجلد التماسى ناتجًا عن التعرض لأوراق سامة مثل اللبلاب ال سام.
الأكزيما (ECK-zeh-mah)	آفات جلدية حاكة وحمراء و"تنزف" ناتجة عن حساسية، عادةً تبدأ قبل سن الخامسة؛ قد تتطور إلى بقع سميكة، جلدية، داكنة اللون.
الصدفية)سو-رى-آ-سيس(	لوحات متكررة حمراء مغطاة بقشور فضية؛ أحيانًا مشوهة؛ قد تكون ناجمة عن استجابة مناعية ذاتية؛ تنتشر فى العائلات.
الوردية)رو-زاى-شيا(	منطقة حمراء تشبه الطفح الجلدى، غالبًا فى منطقة الأنف والخدين، تتميز بشبكات دقيقة من الأوعية الدموية المتوسعة؛ تتفاقم بسبب الم شروبات الساخنة، الكحول، والطعام الحار.
التهاب الجلد الدهنى (سيب-أوه-رى-يك)	بقع متكررة من التهاب متقشر أبيض أو أصفر غالبًا على الرأس، الوجه، الصدر، والظهر؛ يُسمى قشرة المهد)آفة صفراء متقشرة فى فروة الرأس(عند الرضع. السبب غير معروف، لكنه مرتبط بعوامل وراثية ومناخية.
السعفة	أى عدوى فطرية فى الجلد؛ شائعة فى المناطق الرطبة مثل الإبط، الأربية، والقدم)قدم الرياضى(. تسمى خطأً الحلقة بسبب نمط النمو الدائرى الشبيه بالديدان الذى يظهر أحيانًا.
يمكنك العثور على اضطرابات أخرى فى نظام الجلد موصوفة فى الأماكن التالية:	
الثآليل التناسلية فى نظرة أعمق 27.5؛ وفى الفصل الحالى، ألوان الجلد المرضية و العلامات الولادية فى القسمين 6.1e و6.1f؛ الصلع و فرط الشعر فى القسم 6.2a؛ تعدد الحلمات فى القسم 6.3d؛ و سرطان الجلد و الحروق فى القسم 6.4.	



رؤية أعمق 6.3

التطبيق السريرى

الأشعة فوق البنفسجية UVA و UVB وواقيات الشمس

المسبب المعتاد الذى يُلقى عليه اللوم فى حروق الشمس وسرطان الجلد هو الإ شعاع فوق البنفسجى)UV(فى ضوء الشمس. ومع ذلك، ليست كل أشعة UV م تشابهة. تنقسم الأشعة فوق البنفسجية إلى نطاقين من الأطوال الموجية، UVA و UVB. الأشعة UVA، المعروفة باسم "أشعة التسمير"، لها طول موج ى أطول)320–400 نانومتر(وطاقة أقل من الاثنين. تقع UVA تحت الطيف المر ئى للضوء مباشرة، حيث أن 400 نانومتر تقع على الحدود بين اللون الأسود وأعمق درجات اللون البنفسجى التى يمكننا رؤيتها. أما الأشعة UVB، المعروفة باسم "أ شعة الحرق"، فلها طول موجى أقصر)290–320 نانومتر(ومستوى طاقة أعلى. غا لبًا ما تعلن صالونات التسمير عن استخدامهم فقط لأشعة UVA "الآمنة"، لكن ال سلطات الصحية العامة متشككة فى ذلك. يمكن للأشعة UVA أن تسبب الحروق كما تسبب التسمير، وهى مسؤولة عن معظم تأثيرات الشيخوخة الضوئية غير المر غوب فيها على الجلد)انظر القسم 29.4أ(، كما أنها تثبط جهاز المناعة. يُعتقد الآن أ ن كلًا من UVA و UVB يبدآن سرطان الجلد. كما يحب أطباء الجلدية القول، لا يوج د شىء اسمه تسمير صحى.

يشترى الكثير من الناس واقى الشمس بناءً على عامل الحماية من الشمس)S PF(، لكن قد يُضللون بمفهومه. SPF هو مقياس مخبرى للحماية م ن إشعاع UVB. يُنصح باستخدام SPF لا يقل عن 15 للحماية الفعالة. قد يبدو أن S PF 30 يوفر ضعف الحماية مقارنة بـ SPF 15، لكن العلاقة بين ال حماية و SPF ليست خطية. واقى الشمس بمعامل حماية 15 يحمى الجلد من 93 % من أشعة UVB، لكن SPF 30 يحمى فقط بنسبة 97% تقريبًا. على الرغم من تـ نافس الشركات المصنعة لإنتاج منتجات بمعامل حماية عالٍ، فإن الأرقام الأعلى تخلق إحساسًا زائفًا بحماية أكبر بكثير.

تعتبر الحكومة الأسترالية أن قيم SPF التى تزيد عن 30 مضللة.

علاوة على ذلك، تختلف الفعالية حسب كمية الواقى المستخدمة، وتكرار إعادة التطبيق، ونوع الجلد، والتعرق، كما يُزال الواقى بالماء أثناء السباحة. يميل الناس إ لى استخدام ربع إلى نصف الكمية اللازمة فقط لتحقيق تصنيف SPF الموجود عل ى العبوة، وينتظرون وقتًا طويلاً بين إعادة التطبيق. للحماية الفعالة، يجب قسمة قيمة SPF على 2 وإعادة تطبيق الواقى بعد هذا العدد من الدقائق من بداية التعر ض للشمس — أى كل 15 دقيقة عند استخدام SPF 30. تدعى بعض المنتجات " حماية واسعة الطيف من UVA/UVB"، لكن لا توجد أدلة قوية على أنها تحمى بش كل كافٍ من UVA.

كان يُعتقد سابقًا أن واقيات الشمس تحمى من سرطان الجلد، لكن الدراسات الأكثر دقة شككت فى ذلك. تسبب حروق الشمس وسرطان الجلد آليات مختلفة، وحتى إذا كان واقى الشمس يحمى من الحروق، فقد يوفر حماية قليلة من السرطا ن.

من المفارقات أنه مع زيادة مبيعات واقيات الشمس، ارتفع معدل الإصابة بسرطا ن الجلد — ربما لأن الناس يفترضون خطأً أنه عند استخدامهم لواقى الشمس، يم كنهم البقاء فى الشمس لفترة أطول بأمان. تشير بعض الأدلة إلى أن المساهمة ال جدلية الصغيرة للأشعة فوق البنفسجية فى سرطان الجلد تُعوض بتأثيرها الوقائى ا لأكبر بكثير ضد العديد من الاضطرابات المتنوعة مثل السكرى، وارتفاع ضغط الدم ، والسكتة الدماغية، والاكتئاب، وهشاشة العظام، والسمنة.



نظرة أعمق 6.4

الطب التطورى

تطور لون الجلد

معطم التباين فى لون بشرة الإنسان هو نتيجة لضغوط الانتقاء التطورى التى أثرت على النوع عندما هاجر البشر من أفريقيا واستعمروا العالم، بدءًا من حوالى 100,0 00 سنة مضت.

الإشعاع فوق البنفسجى (UVR) فى المناطق الاستوائية شديد. من المحتمل أ ن أسلافنا الأسترالو-بيثيسينيين، مثل الرئيسيات الأخرى اليوم، كان لديهم بشرة فاتحة تحت فراء داكن كثيف يحميهم من الآثار الضارة للإشعاع فوق البنفسجى. و مع ذلك، كان أسلافنا الأوائل من جنس الإنسان (Homo) من الرئيسيات ذات ا لقدمين المتكيفة للمشى والجرى لمسافات طويلة. وكان لذلك خطر ارتفاع درجة ح رارة الجسم، لذا رافقه تقليل كبير فى شعر الجسم، مما سمح بتبديد حرارة الجسم بسهولة أكبر، وتطور عدد العرق للتبريد بالتبخر. ومع ذلك، فقد خلق فقدان الشعر مشكلة أخرى يجب التعامل معها—تعرض البشرة الفاتحة للآثار الضارة للإشعاع فو ق البنفسجى. كان على الجلد أن يحمى نفسه من الإشعاع الزائد—وهو ضغط انتقا ئى قوى يدعم التصبغ فى المناطق الاستوائية. البشرة البنية والسوداء اليوم لها معا مل حماية من الشمس (SPF) حوالى 10 إلى 15، والبشرة البيضاء فقط 2.5 (قارن معاملات الحماية من الشمس فى التعمق 6.3).

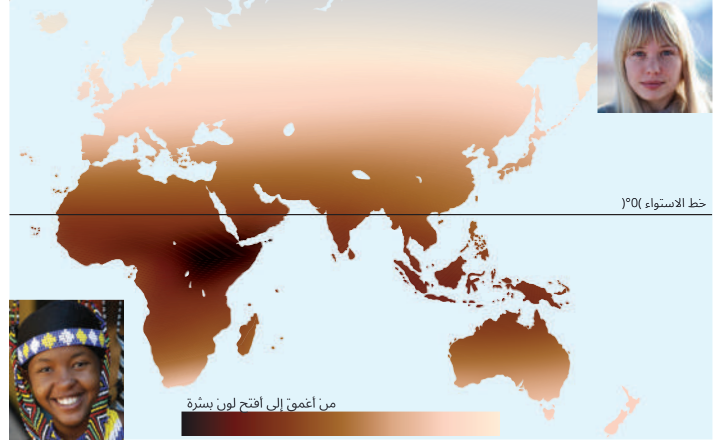
الإشعاع فوق البنفسجى يجلب مخاطر وفوائد على حد سواء، لذا كانت تأثيراته على تطور الإنسان معقدة للغاية. من ناحية، يحفز البشرة على إنتاج فيتامين د (ا نظر الشكل 7.16)، وهو ضرورى لتمثيل الكالسيوم، ونمو الخلايا، ووظائف الجهاز ا لعصبى والعضلى والمناعى، وربما الأهم من ذلك، صحة العظام وتطور الجنين وال طفل.

على مستوى العالم، تكون بشرة النساء أفتح بحوالى 4% من بشرة الرجال، ربما ب سبب الحاجة الأكبر لدى النساء لفيتامين د والكالسيوم لدعم الحمل والرضاعة. كما أن فيتامين د ضرورى لصحة الأطفال لأنه يمنع عيبًا عظميًا يعرف باسم الكساح (انظر الشكل 7.15).

لكن من ناحية أخرى، فإن الآثار الضارة للإشعاع فوق البنفسجى الزائد معروفة جيدًا—وخاصة حروق الشمس وسرطان الجلد. كما أنه يولد جذورًا حرة تدمر خلايا د ندريتية مناعية فى البشرة، وتتلف البروتينات والحمض النووى، وتسارع شيخوخة ا لجلد بفعل الضوء. ولكن العامل الوحيد المهم فى التطور هو النجاح التناسلى، والإ شعاع فوق البنفسجى الزائد (وخاصة UVA) يمكن أن يؤثر سلبًا بقوة هنا. فهو يف سد ليس فقط الحمض النووى بل أيضًا الفولات (فيتامين ب). الفولات ضرورى لانقسام الخلايا، وبالتالى حاسم لإنتاج الحيوانات المنوية والبويضات وتطور الجنين . يمكن أن يسبب نقص الفولات العقم، والعيوب الخلقية الشديدة مثل السنسنة المشقوقة (spina bifida) والوفاة قبل الولادة. هذا ضغط انتقائى قوى يدعم وجو د بشرة داكنة وحامية بشكل خاص فى خطوط العرض التى يكون فيها الإشعاع فو ق البنفسجى أقوى.

عندما هاجر البشر من أفريقيا إلى آسيا وأوروبا، استقروا فى خطوط عرض تتم تع بضوء شمس أضعف بكثير من المناطق الاستوائية. هناك، أصبحت البشرة الدا كنة جدًا والتى تحجب الإشعاع فوق البنفسجى عبئًا، لأنها تعيق تخليق فيتامين د. كلما ابتعد الإنسان شمالًا أو جنوبًا عن المناطق الاستوائية، ضعفت أشعة الشمس ، وأصبح من المهم أن تكون البشرة أفتح. معطم اليابسة فى العالم تقع شمال خط الاستواء، لذا كان هذا التأثير أكثر وضوحًا فى أوروبا وآسيا. جاء الهجرة إلى الأمريك تين فى وقت لاحق بكثير.

يمثل تطور لون الجلد استجابة للهجرة بذلك تسوية بين الحاجة إلى الفولات (ا لذى يفسده الإشعاع فوق البنفسجى) وفيتامين د (الذى يعززه الإشعاع فوق البنف سجى). إذا كان هناك الكثير من الإشعاع فوق البنفسجى، يعانى السكان من انخفا ض فى النجاح التناسلى بسبب تدهور الفولات؛ وإذا كان هناك القليل جدًا، يعانون من انخفاض فى النجاح التناسلى بسبب نقص فيتامين د. هذا يفسر معطم التبا ين فى ألوان البشرة لدى الأسلاف فى



الشكل 6.14 توزيع ألوان الجلد الأجدادية فى نصف الكرة الشر قى. متوقع بناءً على الأشعة فوق البنفسجية وعوامل بيئية أخر ى.

أعلى: harpazo hope/Getty Images أسفل: ManoAfrica/E+/Getty Images

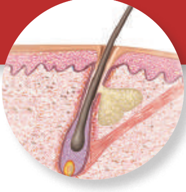
العلاقة بخط العرض، حيث نرى تدرجًا وراثيًا فى اللون (تدرج *cline* بمصطلحات التطور) من خطوط العرض الاستوائية إلى القطبية (الشكل 6.14).

فى المناطق التى تشهد تغيرات موسمية كبيرة فى الأشعة فوق البنفسجية، ا ختارت التطور السمرة— القدرة على تغميق الجلد وحماية الفولات والحمض النوو ى عندما تكون الأشعة فوق البنفسجية شديدة، و تفتيح الجلد لضمان تكوين فيتام ين د بشكل كافٍ عندما تكون الأشعة أضعف. القدرة على التسمير بارزة بشكل خا ص لدى الأشخاص من أصول متوسطية.

ومع ذلك، فإن التوزيع الجغرافى للون ليس بهذه البساطة. خلال الألفية القليلة الماضية، هاجر البشر من أراضى أجدادهم إلى خطوط عرض جديدة أسرع مما يمك ن للتطور أن يواكبه. كما أن اختراع المأوى والملابس يحمى الجلد من قدر كبير من الأشعة فوق البنفسجية وتأثيراتها الانتقائية. فى خطوط العرض الشمالية البعيدة، قد نتوقع بشرة أفتح مما نراه عند شعوب الإينويت–أليوت–الإسكيمو فى المناطق القطبية الشمالية. لكن هنا، تعزز الانعكاسات الشديدة للأشعة فوق البنفسجية من الثلج الميلانين؛ فالمتزلجون على الجليد يدركون جيدًا التأثير المحتمل لحروق ال شمس الناتجة عن الانعكاس من الثلج والجليد. كما يلعب الارتفاع دورًا أيضًا. تزداد الأشعة فوق البنفسجية فى الارتفاعات العالية حيث تكون الغلاف الجوى رقيقًا و جافًا ويقل ترشيحه للأشعة. وهذا يساعد فى تفسير البشرة الداكنة للأشخاص الأ صليين فى أماكن مثل جبال الأنديز والهضاب العالية فى التبت وإثيوبيا، وكذلك فى الصحارى من صحراء سونوران إلى الشرق الأوسط إلى غوبى.تتأثر تطور لون ال جلد أيضًا بالزواج المختلط بين أشخاص من أصول جغرافية مختلفة، وبالاختيار الج نسى الداروينى sexual selection — وهو تفضيل الشركاء ذوى البشرة الفاتحة أ و الداكنة، مما يؤدى إلى استمرار وتكثيف الفروق العرقية فى اللون.

حدثت طفرات تفتيح الجلد بشكل مستقل فى أوقات وأماكن متعددة خلال ه جرة الإنسان وتطوره، ودون علاقة بصفات عرقية أخرى. لهذا السبب وأسباب أخر ى، لا معنى للتفكير فى الأبيض أو الأسود كـ "أعراق". مفهوم العرق لا معنى له بيولوجيًا وتم التخلى عنه إلى حد كبير فى الفكر العلمى المعاصر.

اتصالات النظام

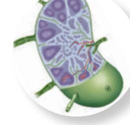


تأثيرات نظام الجلد على أنظمة الأعضاء الأخر
ى

جميع الأنظمة
يغطى الجلد الجسم ويوفر حاجزًا ضد مسببات الأمراض وفقدان الماء المفرط؛ تقوم الخلايا الكيراتينية فى البشرة
ببدء تخليق الكالسيتريول، الذى يؤثر على عدة أنظمة أعضاء أخرى كما هو مذكور.



الجهاز الهيكلى
يعتمد نمو العظام وصيانتها على ال
كالسيوم، الذى يُمتص من الغذاء
تحت تأثير الكالسيترويول.



الجهاز اللمفاوى و
الجهاز المناعى
تنبه الخلايا التغصنية فى الجلد
الجهاز المناعى
عندما تخترق الممرضات
الحاجز البشرة.



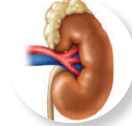
الجهاز العضلى
يعتمد انقباض العضلات على
الكالسيوم، الذى يتم امتصاصه من
النظام الغذائى تحت تأثير
الكالسيتريول.



الجهاز التنفسى
تمنع شعيرات الحراسة الأنفية بع
ض الحطام المحمول جواً من ا
لاستنشاق؛ الكالسيوم ضرورى
لإفراز مخاط الجهاز التنفسى، والذ
ى يعتمد بالتالى على الكال
سيتريول.



الجهاز العصبى
يعتمد انتقال الإشارات العص
بية عبر المشابك على الكال
سيوم، الذى يُمتص من الغذاء تح
ت تأثير الكالسيتريول.



الجهاز البولى
تُكمل البشرة الجهاز ا
لبولى عن طريق إفراز الأ
ملاح وبعض الفضلات الن
تروجينية فى العرق؛ يعزز ال
كالسيتريول إعادة امتصاص ا
لكالسيوم بواسطة الكلى.



الجهاز الصماء
يعتمد إفراز الهرمونات على الكال
سيوم كمحفز للإفراز الخلوى)ا
لإخراج الخلوى(، وبالتالى على الكا
لسيتريول؛ ودور الخلايا الكيراتينية ا
لبشرة فى تخليق الكالسيتريول ه
و وظيفة صماء بحد ذاته.



الجهاز الهضمى
من خلال دورها فى تخليق
الكالسيتريول، تؤثر الخلايا ا
لكيراتينية على امتصاص الكالسيو
م فى الأمعاء؛ ويُحتاج إلى الكالسي
وم لإفراز جميع الإنزيمات
الهضمية والمخاط.



الجهاز الدورى
الجلد هو مخزون دموى رئي
سى؛ الانقباض الوعائى
الجلدى يحول الدم إلى أع
ضاء أخرى؛ يدعم الجلد حجم ال
دم عن طريق إبطاء فقدان
السوائل؛ يساعد الانقبا
ض والاتساع الوعائى الجلد
ى على تنظيم درجة حرارة ا
لدم.



الجهاز التناسلى
نهايات الأعصاب الجلدية
مهمة فى التحفيز الجنسى؛
تنتج الغدد الثديية الحليب؛
تفرز غدد العرق الأبوكرينية
الفيرومونات التى تؤثر على
السلوك الجنسى والفسيولوجيا؛
يمتد الجلد لاستيعاب
نمو البطن أثناء الحمل.

دليل الدراسة

قيّم نتائج تعلمك

لاختبار معرفتك، ناقش المواضيع التالية مع شريك دراسة أو كتابة، ويفضل من الذاكرة.

6.1 الجلد والأنسجة تحت الجلد

1. اسم فرع الطب الذى يتعامل مع الجهاز الح لدى
2. الفرق بين مصطلحى *الجهاز الجلدى* و *الغلاف الجلدى*؛ الأعضاء التى تنتمى إلى الجهاز الجلدى
3. الطبقتان الرئيسيتان للجلد، و اسم طبقة النسيج الضام التى تقع بين الجلد والعضلة الأعمق أو النسيج الآخر
4. السماكة الطبيعية للجلد، والاختلافات فى علم الأنسجة والموقع بين الجلد السميك والجلد الرقيق
5. وظائف الجلد
6. خمس طبقات نسيجية للجلد السميك و أى منها مفقود فى الجلد الرقيق
7. خمسة أنواع من خلايا البشرة، وطائفها الخا صة، وطبقات البشرة التى تتواجد فيها
8. تاريخ حياة خلية الكيراتين من لحظة "ولادتها" عن طريق الانقسام فى قاعدة البشرة حتى لح ظة تقشرها من السطح
9. أنواع الألياف والخلايا فى الأدمة، الهياكل ا لأخرى فى الأدمة، والسماكة النموذجية للأدمة
10. الحليمات الجلدية، التلال الجلدية، وظائفه ا، وعلاقتها بمطهر سطح الجلد
11. طبقتا الأدمة، وكيف تختلفان من الناحية الن سيجية والوظيفية
12. تركيب ووظائف تحت الجلد، واسم بديل له ع ندما يتكون بشكل رئيسى من النسيج الدهنى
13. العوامل التى تفسر تنوع ألوان الجلد الطبيع ة؛ ألوان الجلد غير الطبيعية وأسبابها
14. التعرجات الاحتكاكية، خطوط الانثناء، النمش ، الشامات، والورم الدموى

٢.٦ الشعر والأظافر

1. كيف يختلف الكيراتين فى الشعر والأظا فر عن كيراتين البشرة
2. ثلاثة أنواع من الشعر، بما فى ذلك أنواع الح نين والبالغ
3. المناطق الثلاثة للشعر من القاعدة إلى الطرف ، والطبقات الثلاثة للشعر من النواة إلى ال سطح
4. موقع منطقة نمو الشعر ومصدر تغذيته
5. الطبقتان لجريب الشعر؛ تركيبتهما؛ والنهايا ت العصبية المتخصصة والعضلات الملساء ا لمرتبطة بالجريب
6. الأساس للاختلافات بين الشعر المستقيم، ا لمموج، والمجعد، وكذلك للاختلافات فى لو ن الشعر
7. مراحل حياة الشعر: الأناغين، الكاتاجين، وال تيلوجين؛ العمر الافتراضى النموذجى ومعد ل نمو شعر فروة الرأس
8. الصلع، الصلع النمطى، وفرط الشعر
9. وظائف وتوزيع أنواع الشعر المختلفة فى الجسم
10. تشريح أظافر اليدين والقدمين؛ موقع منط قة نموها؛ ومعدل نمو الأظافر النموذجى

6.3 الغدد الجلدية

1. توزيع الغدد العرقية الأبوكرينية والإكرينية، تط ورها، تركيبها، ووظيفتها
2. نفس خصائص الغدد الدهنية؛ اسم من تجها؛ وكيف يختلف نمط إفرازها عن الغدد ا لعرقية
3. توزيع الغدد الشمعية، تطورها، تركيبها، وو ظيفتها
4. تركيب الغدة الثديية وتطورها وكيف ترتبط الغ دد الثديية بنوع من الغدد العرقية

6.4 اضطرابات الجلد

1. ثلاثة أشكال من سرطان الجلد والاختلافات فى مظهرها، الخلايا التى تنشأ منها، تكرار حد وثها، وشدتها
2. ثلاث درجات للحروق وكيفية علاجها

اختبار استرجاعك

الإجابات فى الملحق أ

1. مقرنة و ______ الخلايا فى ميتة.
   - أ. الطبقة الحليمية
   - ب. الطبقة الشوكية (الطبقة الشائكة)
   - ج. الطبقة القاعدية
   - د. الطبقة القرنية
   - هـ. الطبقة الحبيبية
2. يتم تشكيل حاجز الماء فى البشرة عند النقطة التى تنتقل فيها خلايا البشرة
   - أ. من الطبقة القاعدية إلى الطبقة الشو كية.
   - ب. تدخل فى مرحلة التيلوجين.
   - ج. تنتقل من الطبقة الشوكية إلى الطبقة الح بيبية.
   - د. تشكل التلال الجلدية.
   - هـ. تتقشر.
3. أى من الحالات أو المظاهر الجلدية التالية م ن المرجح أن تنتج عن فشل الكبد؟
   - أ. شحوب
   - ب. احمرار الجلد
   - ج. التهاب الجلد الدهنى
   - د. اليرقان
   - هـ. تصبغ الميلانين
4. كل ما يلى يتداخل مع غزو الميكروبات للجسم باستثناء
   - أ. الطبقة الحمضية.
   - ب. تصبغ الميلانين.
   - ج. الخلايا الشجرية.
   - د. تقرن الجلد.
   - هـ. الزهم.
5. الشعر على ذراعى طفل يبلغ من العمر ٦ سنوات هو
   - أ. شعر زغبى.
   - ب. شعر نهائى.
   - ج. تساقط الشعر.
   - د. شعر ناعم.
   - هـ. حمامى (وردية الوجه).
6. أى من المصطلحات التالية هو الأقل ارتباطًا با لباقى؟
   - أ. الهلال (لون الظفر).
   - ب. لوح الظفر.
   - ج. تحت الظفر.
   - د. الحافة الحرة
   - هـ. القشرة

دليل الدراسة

15. نتوءات الأدمة نحو سطح الجلد تُسمى ______.

16. الشمع الأذنى معروف أكثر باسم ______.

17. الغدد الهولوكرينية التى تفرز فى جريب الشعر تُسمى ______.

18. مرحلة ______ ينمو الشعر فقط خلال دورة الشعر.

19. يُغذى الشعر بواسطة الأوعية الدموية فى نتوء نسيج ضام يُسمى ______

20. أ ______ الحرق يدمر كامل الأدمة.

10. أى من خلايا الجلد التالية تنبه الجهاز المناعى إلى مسببات الأمراض؟
أ. الخلايا الليفية
ب. الخلايا الصباغية
ج. خلايا الكيراتين
د. الخلايا الشجرية
هـ. الخلايا اللمسية

11. ______ التعرق بدون وجود رطوبة ملحوطة على الجلد.

12. العضلة التى تسبب وقوف الشعر على الأطراف تُسمى ______.

13. عملية إزالة الجلد المحترق من المريض تُسمى ______.

14. زرقة الجلد والأغشية المخاطية بسبب انخفاض تركيز الأكسجين فى الدم تُسمى ______.

7. أى مما يلى هو غدة عطرية؟
أ. الغدة الإكرينية
ب. الغدة الدهنية
ج. الغدة الأبوكرينية
د. الغدة الشمعية
هـ. الغدة الإكرينية

8. ______ هى خلايا جلدية لها دور حسى.
أ. الخلايا اللمسية
ب. الخلايا التغصنية
ج. الخلايا الجذعية
د. الخلايا الصباغية (الميلانوسايت)
هـ. خلايا الكيراتين

9. أى من الغدد التالية تُنتج الطبقة الحمضية؟
أ. الغدد العرقية الإكرينية
ب. الغدد العرقية الأبوكرينية
ج. الغدد الثديية
د. الغدد الشمعية
هـ. الغدد الدهنية

بناء مفرداتك الطبية

الإجابات فى الملحق أ

اذكر معنى كل عنصر من عناصر الكلمة، وقدم مصطلحًا طبيًا من هذا الفصل يستخدمه أو تغييرًا طفيفًا له.

1. -in
2. albo-
3. جلدى-
4. dia-
5. هومو-
6. lesio-
7. ميلانو-
8. -وما
9. أونيخو-
10. بيلو-

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

الإجابات فى الملحق أ

اشرح بإيجاز لماذا كل من العبارات التالية خاطئة، أو أعد صياغتها لتصبح صحيحة.

1. سرطان الخلايا القاعدية هو أندر أنواع سرطان الجلد والأقل احتمالاً للانتشار.
2. الصلع النمطى للذكور ناتج عن أليل متنحٍ على كروموسوم Y.
3. الطبقة الأدمة تتكون بشكل رئيسى من الكيراتين.
4. يبدأ تخليق فيتامين د فى بعض الغدد الجلدية.
5. تتكاثر خلايا البشرة بسرعة فى الطبقة الحبيبية لإنتاج الطبقة القرنية السميكة والحامية.
6. يتكون غلاف الشعر من خلايا ميتة؛ أما خلايا الشعر الحية فتشكل القشرة.
7. الطبقات الثلاث للجلد هى البشرة، الأدمة، و تحت الجلد.
8. يتمتع الأشخاص من أصل أفريقى بكثافة أعلى بكثير من الخلايا الصباغية فى البشرة مقارنة بالأشخاص من أصل أوروبى شمالى.
9. الشحوب يشير إلى نقص وراثى فى الميلانين.
10. عدد الغدد العرقية الإكرينية والأبوكرينية موجودة منذ الولادة.

اختبار فهمك

1. تحتوى العديد من أعضاء الجسم على العديد من الأعضاء الصغيرة، وربما آلاف منها. صف مثالاً على ذلك فى الجهاز الجلدى.
2. بعض جوانب الشكل والوظيفة البشرية أسهل فى الفهم عند النظر إليها من منظور التشريح المقارن و التطور. ناقش أمثلة على ذلك فى الجهاز الجلدى.
3. اشرح كيف ينعكس تكامل الشكل والوظيفة فى حقيقة أن الأدمة تحتوى على طبقتين نسيجيتين وليس واحدة فقط.
4. عادةً لا يتداخل الطقس البارد مع امتصاص الأكسجين بواسطة الدم، لكنه يمكن أن يسبب الزرقة على أى حال. لماذا؟
5. لماذا من المهم أن تكون البشرة فعالة، ولكن ليست فعالة جدًا، فى تصفية الأشعة فوق البنفسجية؟

الفصل 7

BONE TISSUE



خلية عظمية)عظمية(محاطة بمصفوفة عظمية متكلسة
عين العلم / مصدر العلم

رؤى أعمق

مخطط الفصل

Anatomy & Physiology Revealed® 4.0
الوحدة 5: الجهاز الهيكلي

لكنها تربط العضلات بالعظام؛ حيث نُناقش مع الجهاز العضلى فى ال فصل 10. هنا، نركز على العظام.

7.1 أ وظائف الهيكل العظمى

يلعب الهيكل العظمى على الأقل سبعة أدوار:

1. الدعم. تدعم عظام الأطراف والعمود الفقرى الجسم؛ تدعم الفك السفلى والفك العلوى الأسنان؛ و تدعم بعض الأحشاء العظام القريبة.
2. الحماية. تحيط العظام وتحمى الدماغ، الحبل الشوكى، القلب، الرئتين، أحشاء الحوض، ونخاع العظم.
3. الحركة. تنتج حركات الأطراف، التنفس، والحركات الأخرى عن طريق عمل العضلات على العظام.
4. توازن الإلكتروليت. يخزن الهيكل العظمى أيونات الكالسيوم والفوسفات ويطلقها فى سوائل الأنسجة والدم وفقًا للاحتياجات الفسيولوجية للجسم.
5. توازن الحمض-القاعدة. يعمل نسيج العظم كعازل للدم ضد التغيرات المفرطة فى الرقم الهيدروجينى عن طريق امتصاص أو إطلاق أملاح الفوسفات والكربونات القلوية.
6. تكوين الدم. نخاع العظم الأحمر هو المنتج الرئيسى لخلايا الدم، بما فى ذلك خلايا الجهاز المناعى.
7. إفراز الهرمونات. تفرز خلايا العظم هرمونات تؤثر على إفراز وعمل الأنسولين وتعدل استجابة الإجهاد.

7.1 ب العظام والنسيج العظمى

العظم، أو النسيج العظمى[3] ، هو نسيج ضام يتصلب مصفوفته بواسطة ترسيب فوسفات الكالسيوم ومعادن أخرى. تُسمى عملية التصلب التمعدن أو التكلس.)العظم ليس أصلب مادة فى الجسم؛ فهذا اللقب يعود لمينا الأسنان.(النسيج العظمى هو واحد فقط من الأنسجة التى تشكل العظم. كما توجد أيضًا الدم، نخاع العظم، الغضروف، النسيج الدهنى، النسيج العصبى، والنسيج الضام الليفى. يمكن أن تشير كلمة *العظم* إلى عضو مكون من كل هذه الأنسجة، أو يمكن أن تشير فقط إلى النسيج العظمى.

7.1 ح الخصائص العامة للعظام

تمتلك العظام أشكالًا متنوعة مرتبطة بوظائفها المختلفة فى الحماية و الحركة. معظم عظام الجمجمة تكون على شكل صفائح رقيقة ومنحنية تُسمىالعظام المسطحة، مثل عظام الجدارى المزدوجة التى تشكل ق بة أعلى الرأس. العظم القصى)عظم الصدر(، لوح الكتف)الكتف(، الأضلاع، وعظام الح وض هى أيضًا عظام مسطحة. أهم العظام فى الحركة هىالعظام الطو يلة للأطراف—عظم العضد، الكبرة، والزند فى الذراع والساعد؛ عظم ا لفخذ، الظنبوب، والشظية فى الفخذ والساق؛ وعظام مشط اليد، مش ط القدم، والسلاميات فى اليدين والقدمين. تعمل العظام الطويلة كأذ رع صلبة تشبه العتلات التى تؤثر عليها عضلات الهيكل العظمى لإنتاج الحركات الرئيسية للجسم. هناك عظام مختلفة لا تنتمى إلى العظام ا لمسطحة أو الطويلة.

[3]*عظم، عظام، عظمى* = عظم

التنقيح

- تتطور العظام من نسيج ضام جنينى يُسمى الميسنكيم، كما هو موضح فى القسم 5.1ب.
- علم الأنسجة للغضروف الزجاجى)انظر الجدول 5.7(مهم لفهم تـ طور العظام وبعض خصائص الهيكل العظمى الناضج.
- راجع الخلايا الجذعية)القسم 5.6ح(لفهم خلايا العظام وأصولها بشكل أ فضل.

فى الفن والتاريخ، لم يرمز شيء إلى الموت كثيرًا مثل الجمجمة أو الهيك ل العظمى.[1] العظام والأسنان هى أكثر بقايا الجسم الحى ديمومةً وأوضح تذكير بزوال الحياة.

قد توحى العظام الجافة المعروضة للدراسة المختبرية بشكل خاطئ بأن الهيكل العظمى هو هيكل غير حى للجسم، مثل دعامات الصلب فى الم بنى. إن رؤيته بهذا الشكل المعقم يجعل من السهل نسيان أن الهيكل العظ مى الحى مكون من أنسجة ديناميكية، مليئة بالخلايا—وأنه يعيد تشكيل ن فسه باستمرار ويتفاعل فسيولوجيًا مع جميع أنظمة الأعضاء الأخرى فى الج سم. الهيكل العظمى مشبع بالأعصاب والأوعية الدموية، مما يدل على ح ساسيته ونشاطه الأيضى.

علم العظام،[2] وهو دراسة العظام، هو موضوع الفصول الثلاثة التالية. فى هذا الفصل، ندرس العظم كنسيج—تركيبته، وظائفه، كيف يتطور وينم و، كيف يتم تنظيم أيضه، وبعض اضطراباته. هذا سيوفر أساسًا لفهم الهي كل العظمى والمفاصل والعضلات فى الفصول التالية.

الأنسجة والأعضاء فى الجهاز الهيكلى 7.1

نتائج التعلم المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. تسمية الأنسجة والأعضاء التى تتكون منها الجهاز الهيكلى؛

ب. ذكر عدة وظائف للجهاز الهيكلى؛

ح. التمييز بين العظم كنسيج وكعضو؛ و

د. وصف الخصائص العامة للعظم الطويل والعظم المسطح.

يتكونالجهاز الهيكلى من العظام، الغضاريف، والأربطة المرتبطة بإحكا م لتشكيل إطار قوى ومرن للجسم. الغضروف، الذى يُعتبر السلف لمع ظم العظام فى التطور الجنينى والطفولى، يغطى العديد من أسطح الم فاصل فى الهيكل العظمى الناضج. الأربطة تربط العظام معًا عند الم فاصل ويتم مناقشتها فى الفصل 9. الأوتار هى بنيويًا مشابهة للأربطة .

[1]*الهيكل العظمى* = جاف

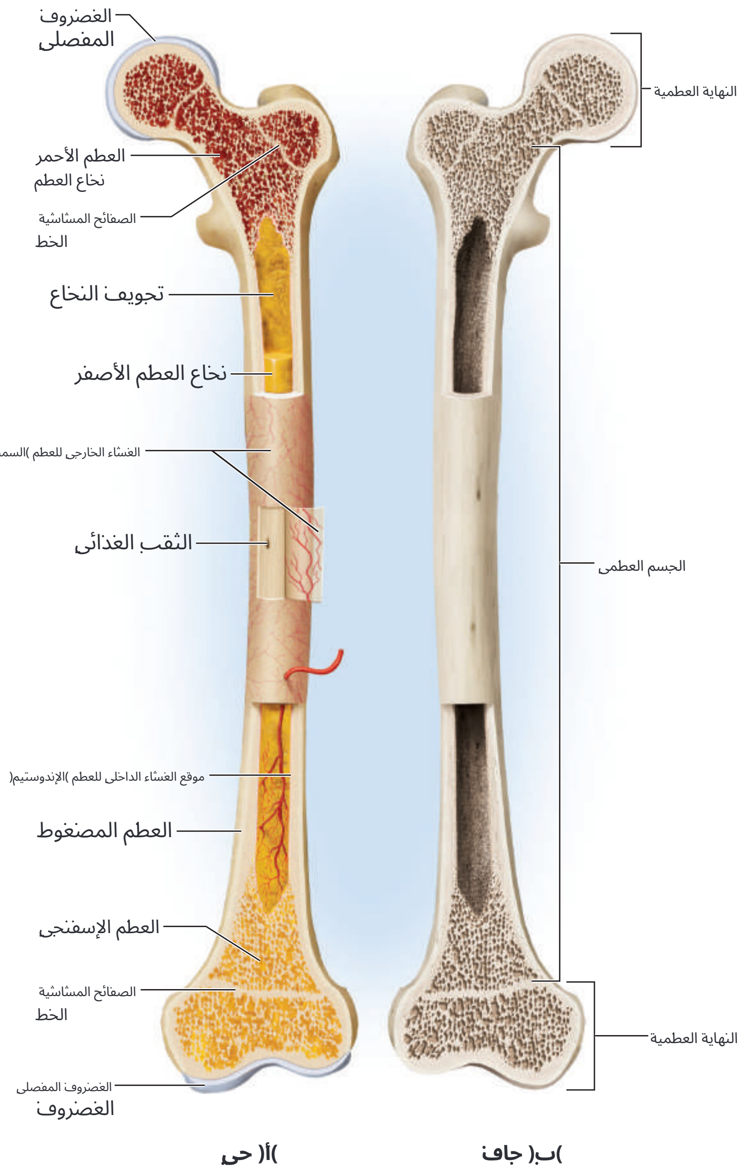
[2]*عظمى* = عظم؛ *لوجى* = دراسة

تُسمى مجموعات العظام أحيانًا *العظام القصيرة*)مثل عظام المعصم والكاحل(أو *العظام غير المنتظمة*)مثل الفقرات وبعض عظام الجمجمة(.

الشكل 7.1 يُظهر التشريح العام لعظم طويل.
يتكون معظمها من غلاف خارجي من نسيج عظمى أبيض كثيف يُسمى العظم المضغوط، الكثيف، أو العظم القشرى. يغلف الغلاف فراغًا يُسمى تجويف النخاع)النخاعى(MED-يو-لير-إى(، الذى يحتوى على نخاع العظم. فى نهايات العظم، يشغل الفراغ المركزى شكلًا أكثر تخلخلًا من النسيج العظمى يُسمى العظم الإسفنجى)الإسفنجى(. توجد منطقة ضيقة من العظم الإسفنجى أيضًا داخل العظم القشرى للجسم وفى وسط معظم العظام المسطحة وغير المنتظمة والقصيرة. يشكل الهيكل العظمى حوالى ثلاثة أرباع العظم المضغوط وربع العظم الإسفنجى من حيث الوزن الجاف. العظم الإسفنجى دائمًا ما يكون محاطًا بغلاف من العظم المضغوط الأكثر متانة.

الميزات الرئيسية للعظم الطويل هى جسمه، المسمى الجسم العظمى[4])دى-أف-إيه-سيس(، ورأس متوسع فى كل نهاية يسمى النهاية العظمية[5])إى-بف-إيه-سيس(. يوفر الجسم العظمى رافعة، وتكون النهاية العظمية موسعة لتقوية المفصل وتوفير مساحة سطح إضافية لارتباط الأوتار والأربطة. غالبًا ما تظهر العظام الناضجة خط النهاية العظمية من العظم الإسفنجى الأكثر كثافة قليلاً بين النهاية العظمية والجسم العظمى. هذا بقايا لمنطقة نمو الطفولة تسمى *لوحة النهاية العظمية*، والتى سيتم تفصيلها لاحقًا. سطح المفصل حيث يلتقى عظم بعظم آخر مغطى بطبقة من الغضروف الزجاجى المسمى الغضروف المفصلى. مع السائل المزلق الذى يُفرز بين العظام، يتيح هذا الغضروف للمفصل الحركة بسهولة أكبر بكثير مما لو احتك عظم بعظم آخر مباشرة. تخترق الأوعية الدموية العظم عبر ثقوب دقيقة تسمى الثقوب المغذية)فور-أم-إيه-نه(؛ وسنتتبع مسارها عند دراسة نسيج العظم.

خارجيًا، يُغطى العظم بغشاء يُسمى الغشاء المحيط بالعظم.[6] يمكنك التفكير فى الغشاء المحيط بالعظم كمماثل للقشرة غير الصالحة للأكل التى تُزال من النقانق؛ القشرة هى للنقانق ما الغشاء المحيط بالعظم هو للعظم—غشاء سطحى قوى.
يتكون من طبقة ليفية خارجية من الكولاجين و طبقة تكوينية داخلية من الخلايا المكونة للعظم التى سيتم وصفها فى القسم التالى. بعض ألياف الكولاجين فى الطبقة الخارجية متصلة بالأوتار التى تربط العضلات بالعظم، وبعضها يخترق مصفوفة العظم كـ ألياف مخترقة. يوفر الغشاء المحيط بالعظم بذلك ارتباطًا قويًا واستمرارية من العضلة إلى الوتر إلى العظم.
الطبقة العظمية مهمة لنمو العظم وشفاء الكسور. لا يوجد غشاء عظمى فوق الغضروف المفصلى.
طبقة رقيقة من النسيج الضام الشبكى تُسمى الغشاء الداخلى للعظم[7] تبطن التجويف النخاعى الداخلى، وتغطى جميع الأسطح المسامية للعظم الإسفنجى، وتبطن نظام قنوات موجود فى جميع أنحاء العظم المضغوط.
العظام المسطحة هى صفائح تشبه الدرع تحمى الأعضاء الحساسة مثل الدماغ والقلب وتشكل أسطحًا واسعة لارتباط العضلات، مثل لوح الكتف وعظام الحوض. لها تركيب يشبه الساندويتش مع طبقتين من العظم المضغوط، تُسمى



الشكل ١.٧ تشريح العظم الطويل.)أ(عظم الفخذ، مع أنسجته الرخوة بما فى ذلك نخاع العظم، الغضروف المفصلى، الأوعية الدموية، والسمحاق.)ب(عظم فخذ جاف فى مقطع طولى. معظم العينات التعليمية هى عظام ميتة وجافة وتعطى انطباعًا محدودًا جدًا عما يكون عليه العظم فى الجسم الحى.

ما الأهمية الوظيفية لكون العظم الطويل أعرض عند النهايات)الإيبيفيسيس(منه عند الجسم)الديأفيسيس(؟

الطبقتان الداخلية و الخارجية، تحيطان بطبقة وسطى من العظم الإسفنجى)الشكل 7.2(. الطبقة الإسفنجية فى الجمجمة تُسمى الدبلوى[8] (DIP-lo-ee). يمكن لضربة معتدلة على الجمجمة أن تكسر الطبقة الخارجية من العظم المضغوط، لكن الدبلوى يمكنه أحيانًا امتصاص الصدمة ويترك الطبقة الداخلية والدماغ سالمة. كلا السطحين لعظم مسطح مغطى بالغشاء الخارجى للعظم، ومساحات النخاع بين العظم الإسفنجى مبطنة بالغشاء الداخلى للعظم.

---

[4] *dia* = عبر؛ *physis* = نمو؛ سُميت فى الأصل نسبة إلى نتوء على عمود عظم الساق)الظنبوب(
[5] *epi* = فوق، على؛ *physis* = نمو
[6] *peri* = حول؛ *oste* = عظم
[7] *endo* = داخل؛ *oste* = عظم

[8] *diplo* = مزدوج

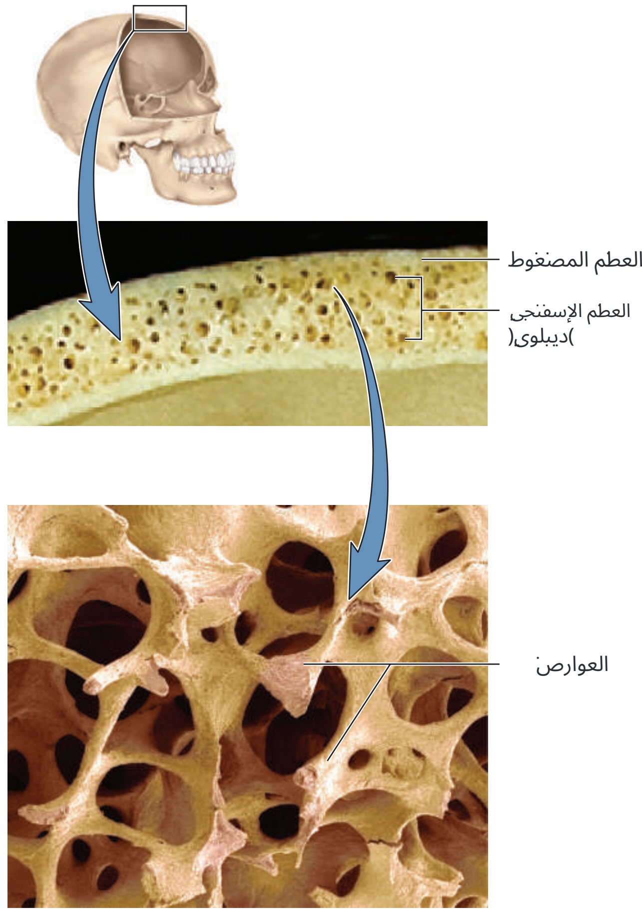
قارن بين علم الأنسجة لنوعى نسيج العظم؛ ج.
و
تمييز بين نوعى نخاع العظم. د.

7.2a خلايا العظام

مثل أى نسيج ضام آخر، يتكون العظم من خلايا وألياف والمادة الأساسية. هناك أربعة أنواع من خلايا العظم)الشكل 7.3(:

1. الخلايا العظمية[9] هى خلايا جذعية تتطور من اللحمة الجنينية ثم تعطى معظم أنواع خلايا العظام الأخرى. توجد فى الغشاء الداخلى للعظم)الإندوستيم(والطبقة الداخلية من الغشاء الخارجى للعظم)البريوستيم(. تتكاثر باستمرار، ويصبح بعضها لاحقًا الخلايا البانية للعظم الموضحة لاحقًا. وهى الخلايا الوحيدة القادرة على الانقسام وإنتاج المزيد من خلايا العظام.
2. الخلايا البانية للعظم[10] هى خلايا تكون العظم تقوم بتخليق المادة العضوية للعظم ثم تعزز تمعدنه. تُسمى هذه العملية لبناء العظم التكوّن العظمى.
تشكل الخلايا البانية للعظم صفوفًا فى الغشاء الداخلى للعظم)الإندوستيم(والطبقة الداخلية من الغشاء الخارجى للعظم)البريوستيم(وتشبه الطهارة المكعبة على سطح العظم)انظر الشكل 7.8(. تحتوى على عدد كبير من الميتوكوندريا والشبكة الإندوبلازمية لدعم دورها فى تكوين العظم. يحفز الإجهاد والكسور انقسامًا متسارعًا للخلايا المكونة للعظم، مما يؤدى إلى زيادة سريعة فى عدد الخلايا البانية للعظم، التى تقوم بعد ذلك بتقوية أو إعادة بناء العظم.
3. الخلايا العظمية هى خلايا عظمية سابقة أصبحت مدمجة فى المصفوفة التى أودعوها)انظر الصورة الافتتاحية لهذا الفصل(. تشكل 90% إلى 95% من خلايا العظم، وتعيش لعقود. تسكن فى تجاويف تُسمى اللاكونات[11] والتى ترتبط ببعضها عبر قنوات رفيعة تُسمى القنوات-القنوات الدقيقة[12])CAN-uh-LIC-you-lye(. لكل خلية عظمية)أوستيوسايت(عمليات سيتوبلازمية دقيقة تُسمى *التغصّنات* التى تمتد إلى القنوات الدقيقة لتتصل بعمليات الخلايا العظمية المجاورة، مثل الجيران الذين يمدون أيديهم ليلمسوا أطراف أصابع بعضهم البعض. بعض هذه العمليات تمتد إلى أقرب الأوعية الدموية، وأخرى تتصل بالخلايا البانية للعظم)أوستيوبلاستات(على سطح العظم. الخلايا العظمية المجاورة متصلة بواسطة وصلات فجوية عند نقاط التقاء عملياتها، مما يسمح لها بتمرير المغذيات والإشارات الكيميائية فيما بينها وتمرير الفضلات الأيضية إلى أقرب وعاء دموى للتخلص منها.
لقد وُجد فى الأبحاث الحديثة أن الخلايا العظمية)أوستيوسايتس(خلايا متعددة الاستخدامات بشكل مدهش. فبعضها يقوم بإعادة امتصاص مصفوفة العظم، بينما يقوم البعض الآخر بإيداعها، وبالتالى تساهم فى الحفاظ على التوازن الداخلى لكثافة العظم وتركيزات الكالسيوم وأيونات الفوسفات فى الدم. وربما الأهم من ذلك، أنها تعمل كمستشعرات للإجهاد. عندما يُطبق حمل على العظم، فإنه يُحدث تدفقًا فى السائل خارج الخلوى فى الفراغات)لاكوناى(والقنوات الدقيقة)كاناليكولى(. هذا يحفز الأهداب الحسية على التغصنات ويحث الخلايا على إفراز إشارات تنظم إعادة تشكيل العظام—تعديلات فى شكل وكثافة العظام للتكيف مع الضغط.

[9] osteo= عظم؛ genic = إنتاج
[10] osteo = عظم؛ blast = تشكيل، إنتاج
[11] lac = بحيرة، تجويف؛ una = صغير
[12] canal = قناة، ممر؛ icul = صغير



الشكل 7.2 تشريح العظم المسطح.
الوسط: كريستين إكل / ماكجرو هيل؛ الأسفل: مكتبة صور العلوم / ألامى ستوك فوتو

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

1. اذكر خمسة أنسجة على الأقل توجد فى العظم.
2. اذكر ثلاث وظائف أو أكثر للجهاز الهيكلى بخلاف دعم الجسم وحماية بعض الأعضاء الداخلية.
3. وصف الفروقات التشريحية بين العظم المضغوط والعظم الإسفنجى، وعلاقتهما المكانية ببعضهما فى العظم الطويل والعظم المسطح.
4. اذكر المصطلحات التشريحية للعمود، والرأس، ومنطقة النمو، والغطاء الليفى للعظم الطويل.

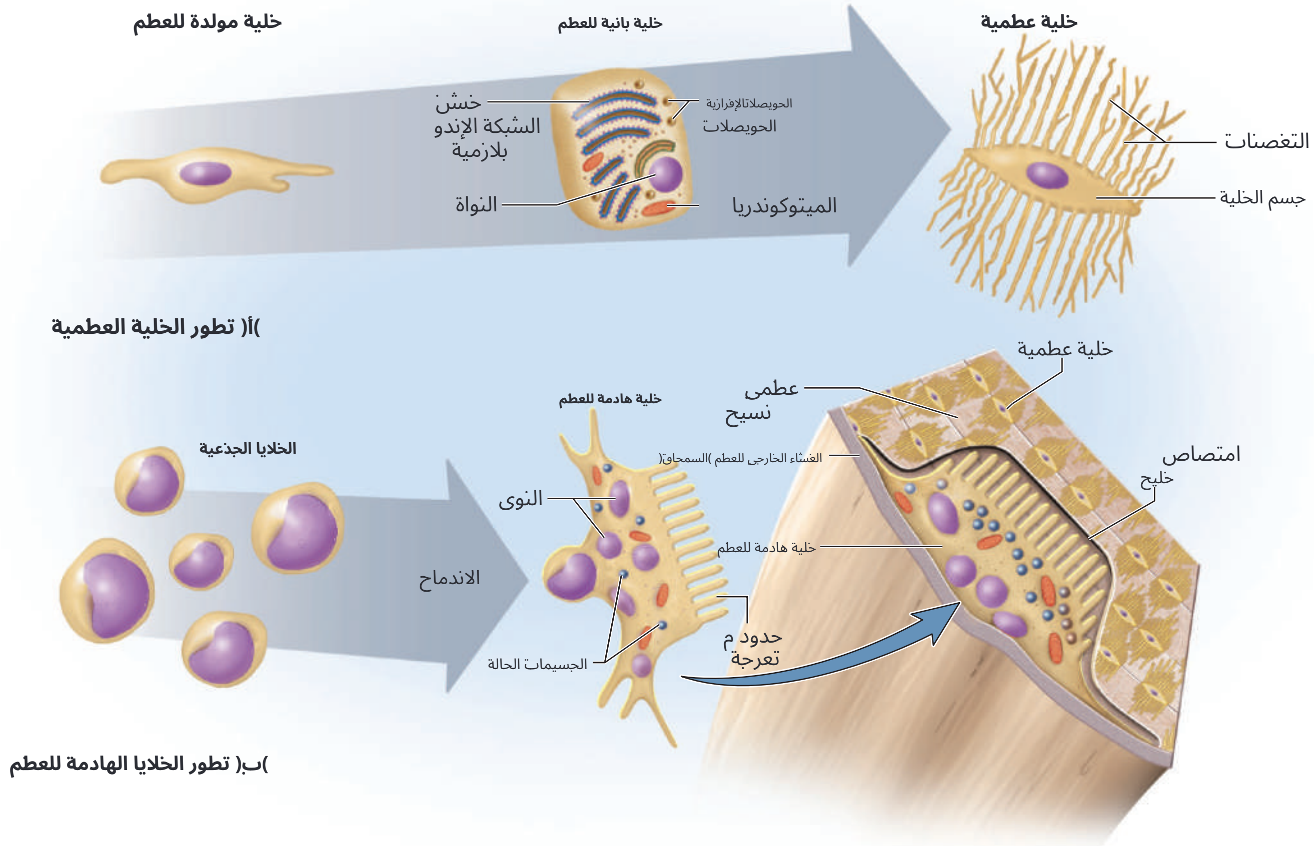
7.2 علم الأنسجة للنسيج العظمى

نتائج التعلم المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

سرد ووصف الخلايا، والألياف، والمادة الأساسية لنسيج العظم؛ أ.

بيان أهمية كل مكون من مكونات نسيج العظم؛ ب.



الشكل 7.3 خلايا العظم وتطورها.)أ(الخلايا المولدة للعظم تعطى خلايا بانية للعظم، التى تودع المصفوفة حول نفسها وتتحول إلى خلايا عظمية.)ب(خلايا جذع ية فى نخاع العظم تندمج لتشكل خلايا هادمة للعظم.

الخلايا البانية للعظم والخلايا العظمية هى أيضًا خلايا صماء مهمة. أحد الهرمونات التى تفرزها هو **osteocalcin** هذا ضرورى لاستجابة الجسم للضغط الحاد—رد الفعل المع روف بالقتال أو الهروب. فى حالات الضغط، يمنع الجهاز الع صبى اللاودى ويسمح للجهاز العصبى الودى بالعمل دون معار ضة)انظر القسم 17.5(. بالإضافة إلى ذلك، يحفز الأوستيوكا لسين البنكرياس على إفراز الأنسولين؛ ويزيد من حساسية خلايا ا لدهون للأنسولين؛ ويؤثر على العضلات الهيكلية لتعزيز توفر الطا قة وقدرتها على ممارسة التمارين؛ وحتى يؤثر على تطور الدماغ و وظيفته والخصوبة الذكرية.

4. الخلايا الهادمة للعظم[13] هى خلايا تذيب العظم على أسطح العظام. يُسمى عملهم تحلل العظم، وهو عكس التكوين العظمى. يتطورون م ن نفس خلايا جذع نخاع العظم التى تُنتج خلايا الدم. وبالتالى، تنتمى الخلا يا المكونة للعظم، والخلايا البانية للعظم، والخلايا العظمية جميعها إلى سلالة خلوية واحدة، لكن الخلايا الهادمة للعظم لها أصل مستقل)الشك ل 7.3(. تندمج عدة خلايا جذعية لتكوين كل خلية هادمة للعظم، لذلك تكو ن الخلايا الهادمة للعظم كبيرة بشكل غير عادى)حتى 150 ميكروم تر(وعادةً ما تحتوى على 3 أو 4 نوى، ولكن أحيانًا أكثر

إلى 50. الجانب من الخلية العظمية)أوستيوكلاست(المواجه لسطح العظم يحتوى على حد مجعد مع العديد من الطيات العميقة لغشاء البلازما التى تزيد من مساحة السطح وكفاءة امتصاص العظم. غالبًا ما تقيم الخلايا العظمية فى حفر تسمى *خانات الامتصاص* التى تنقشها فى سطح العظم. يحدث إعادة تشكيل العظم نتيجة لتكامل التكوين العظمى بواسطة الخلايا البانية للعظم)أوستيو بلاست(والتحلل العظم ى بواسطة الخلايا الهادمة للعظم)أوستيوكلاست(.

7.2b المصفوفة

المصفوفة للنسيج العظمى هى المادة الصخرية التى تحيط بالخلايا الع ظمية)أوستيوسايت(والفراغات)لاكونا(. تتكون، حسب الوزن الجاف، م ن حوالى ثلث مادة عضوية وثلثى مادة غير عضوية. تشمل المادة العضو ية، التى تُصنع بواسطة الخلايا البانية للعظم، الكولاجين ومركبات البرو تين-الكربوهيدرات المختلفة مثل الجليكوزأمينوجليكانات، البروتيوغليكا نات، والجليكوبروتينات)جميعها موصوفة فى القسم 2.4ح(. المادة غير العضوية تتكون من حوالى 85% هيدروكسى أباتيت، وهو ملح فوسفات الكالسيوم المتبلور [$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$]؛ 10% كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$)؛ والعديد من الأيونات غير العضوية. تتصرف عدة عناصر غريبة كيميائيًا مثل معادن العظم وتندمج فى النسيج العظمى كملوثات، أحيانًا مع نتائج قاتلة)انظر التعمق 7.1(.

[13]كلاست = عظم؛ *كلاسْت* = تدمير، تحطيم

مما يمنحها الصلابة اللازمة لنقل اهتزازات الصوت بكفاءة إلى الأذن ا لداخلية. أما عظام الأطراف، فتمتلك نسبة أعلى من الكولاجين، مما ي سمح لها بالانحناء قليلاً تحت وزن الجسم. وبالتالي، فإن النسيج العظ مي يتكيف مع كميات مختلفة من الشد والضغط المطبقة على أجزاء مختلفة من الهيكل العظمي.

7.2c العظم المضغوط

عادةً ما يستخدم الفحص النسيجي للعظم المضغوط شرائح تم تجفيفها ، وقطعها بمنشار، وصقلها إلى سماكة شفافة. هذه العملية تدمر الخلايا لكنها تكشف عن تفاصيل دقيقة للمصفوفة)الشكل 7.4(. تُظهر هذه ا لشرائح طبقات متحدة المركز تشبه البصل (lamellae) —طبقات من ا لمصفوفة مرتبة بشكل متحد المركز حول قناة مركزية)قناة هافيرسيان[14] (ومتصلة ببعضها البعض بواسطة قنوات صغيرة)canaliculi(. تشكل القناة المركزية وطبقاتها وحدة عظمية)osteon أو النظام الهافيرسيان(—الوحدة الهيكلية الأساسية للعظم المضغوط.

في المشاهد الطولية وإعادة البناء ثلاثية الأبعاد، يمكننا رؤية أن الوحدة العظمية هي في الواقع أسطوانة من النسيج تحيط بقناة مركزية. على طولها، ترتبط القنوات المركزية بقنوات عرضية أو مائلة تسمى القنوا ت المثقبة. تبطن القنوات المركزية والمثقبة بطبقة داخلية تسمى الإ ندوستيم. كل وحدة عظمية مفصولة عن جيرانها بخط رقيق يسمى *خ ط الأسمنت*، الذي يمنع انتشار الكسور الدقيقة في العظم ويقلل من احتمال تسببها في كسر واسع النطاق.

تلتف ألياف الكولاجين "بشكل لولبي" عبر مصفوفة طبقة معينة)lamella(بطريقة تشبه خيوط المسمار. تلتف الحلز ونات في اتجاه واحد في طبقة، وفي الاتجاه المعاكس في الطبقة التا لية)الشكل 7.4ب(. هذا يعزز قوة العظم على نفس مبدأ الخشب الرقا ئقي، المصنوع من طبقات رقيقة من الخشب مع اتجاه الألياف مختل ف من طبقة لأخرى. في المناطق التي يجب أن يقاوم فيها العظم ال شد)الانحناء(، يكون اللولب ملتفًا بشكل فضفاض مثل خيوط مسمار خشبي، وتكون الألياف أكثر امتدادًا على المحور الطولي للعظم.

في المناطق الحاملة للوزن حيث تكون مقاومة الضغط أكثر أهمية، ي كون اللولب ملتفًا بإحكام مثل خيوط البرغي المتقاربة، وتكون الألياف أكثر عرضية تقريبًا.

يتلقى الهيكل العظمي حوالي نصف لتر من الدم في الدقيقة. تدخل الأوعية الدموية، إلى جانب الأعصاب، نسيج العظم من خلال ال ثقوب الغذائية على السطح. تفتح هذه الثقوب على القنوات المثقبة ا لتي تعبر المصفوفة وتتصل بالقنوات المركزية. تستقبل الخلايا العظم ية الداخلية المحيطة بكل قناة مركزية المغذيات من هذه الأوعية الدمو ية وتنقلها عبر وصلات الفجوة إلى الخلايا العظمية المجاورة. كما تس تقبل الفضلات من جيرانها وتنقلها إلى القناة المركزية ليتم التخلص م نها عبر مجرى الدم. وهكذا، تحافظ الزوائد الشجرية للخلايا العظمية ع لى تدفق ثنائي الاتجاه للمواد الغذائية والفضلات بين القناة المركزية و الخلايا الخارجية للوحدة العظمية.

ليس كل المصفوفة منظمة في شكل أوستيونات. الحدود الداخلية والخار جية للعظم الكثيف مرتبة في طبقات محيطية(*lamellae circumferential*) تمتد موازية لسطح العظم. بين الأوستيونات، يمكننا العثور على مناطق غير من تظمة تُسمى *الطبقات البينية*)*interstitial lamellae*(، وهي بقايا أوستيونات قديمة تحللت مع نمو العظم وإعادة تشكيله.

[14]كلوبتون هافيرز)1650–1702(، عالم التشريح الإنجليزي

▶▶▶ طبق ما تعرفه

حدد عدة أسباب تجعل هيكل عظمي خارق خيالي مصنوع من ال فولاذ، رغم أنه يبدو أقوى، لا يعمل بشكل جيد مثل العظم الطبيع ي.

يشكل الكولاجين والمعادن مادة مركبة تعطي العظام مزيجًا من ا لمرونة والقوة. تمكن المعادن العظم من دعم وزن الجسم دون ترهل. عندما تعاني العظام من نقص في أملاح الكالسيوم، تصبح طرية وتنثن ي بسهولة. إحدى الطرق لإثبات ذلك هي نقع عظم نظيف وجاف، م ثل عظم دجاجة، في الخل لبضعة أيام. مع إذابة حمض الخل للمعادن، يصبح العظم مرنًا ومطاطيًا. هذا النقص في المعادن والمرونة هما الم شكلة الأساسية في مرض الطفولة *الكساح*، حيث تنثني العظام الطر ية للأطراف السفلية تحت وزن الجسم وتتشوه بشكل دائم)انظر التعم ق 7.3(.

المكون البروتيني يمنح العظم درجة من المرونة. بدون البروتين، يصبح العظم هشًا بشكل مفرط، كما في مرض *هشاشة العظام الموروثة*)*osteogenesis imperfecta*، أو *مرض العظام الهشة*( )انظر الجدول 7.2 في نهاية هذا الفصل(. بدون الكولاجين، كانت عظام العداء ستتكسر تحت تأثير الجري. ولكن عادةً، عندما ينحني العظم قليلاً نحو جانب واحد، فإن القوة الشدّية لألياف الكولاجين على الجانب المقابل تحافظ على تماسك العظم وتمنعه من الانكسار مثل قطعة طباشير. جزيئات الكولاجين تحتوي على *روابط تضحية* تنكسر تحت الضغط، مما يحمي العظم من الكسر عن طريق توزيع بعض الصدمة. تعيد هذه الروابط التكوين عندما يُزال الضغط عن الكولاجين.

تختلف نسبة المعادن إلى الكولاجين في العظم من مكان إلى آخر. على سبيل المثال، عظام الأذن الوسطى تحتوي على حوالي 90% من المعادن،

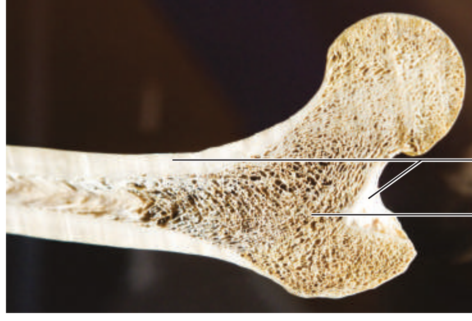


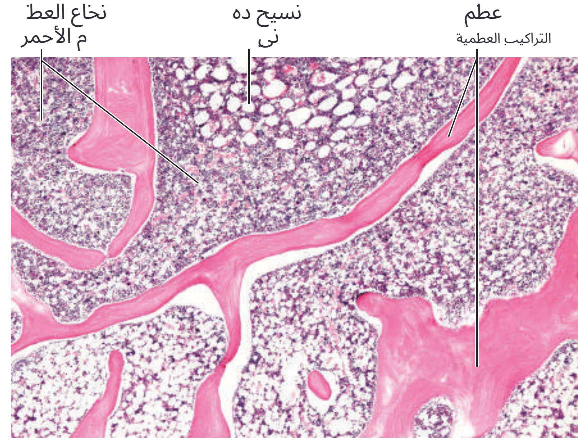
نظرة أعمق 7.1

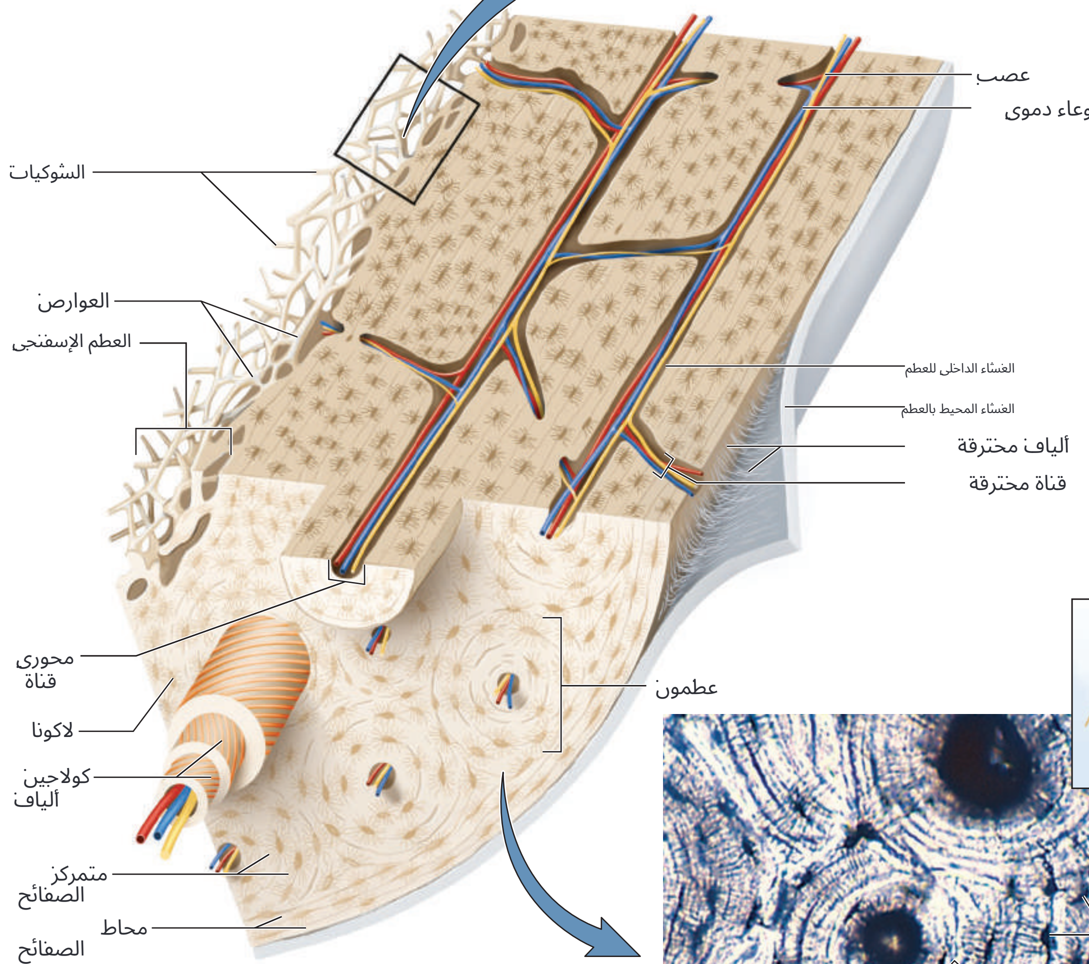
التاريخ الطبي

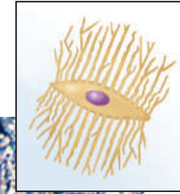
تلوث العظام

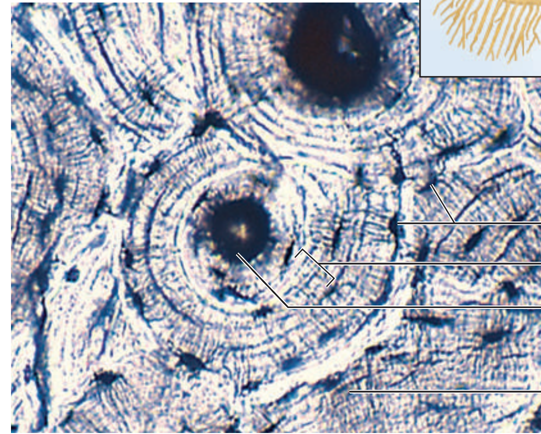
عندما حصلت ماري وبيير كوري وهنري بيكريل على جائزة نوبل عام 1903 لاكتشا ف النشاط الإشعاعي)انظر نظرة أعمق 2.1(، استحوذ الإشعاع على خيال الجمهور. لم يدرك أحد مخاطره إلا بعد عدة عقود. على سبيل المثال، كانت المصانع توظف النساء لرسم أرقام مضيئة على موانئ الساعات باستخدام طلاء الراديوم. كانت ال نساء ترطب فرش الرسم بألسنتهن للحفاظ على دقتها وبذلك ابتلعن الراديوم. تراكم الراديوم في عظامهن وتسبب في إصابة العديد منهن بسرطان العظام المسمى ا لساركوما العظمية. وتذكر التاريخ هؤلاء النساء باسم "فتيات الراديوم" المأساويات. وكان الأمر الأكثر رعبًا، مع حكمة النظر إلى الوراء، هو موضة صحية قاتلة حيث كان الناس يشربون "مقويات" مصنوعة من ماء غني بالراديوم. وكان من بين المتح مسين المشهورين مليونير ولاعب الغولف البطل إيبن بايرز)1880–1932(، ا لذي كان يشرب عدة زجاجات من مقوى الراديوم يوميًا ويمدح فضائله كدواء معجز ة ومنشط جنسي. ومثل رسامات الموانئ، أصيب بايرز بالساركوما العظمية.بحلول وقت وفاته، تكونت ثقوب في جمجمته وأزال الأطباء فكه العلوي بالكامل ومعظم فكه السفلي في محاولة لوقف انتشار السرطان. كانت عظام وأسنان بايرز مشعة لدرجة أنها كانت تعرض الأفلام الفوتوغرافية حتى في الظلام. تسبب تلف الدماغ في فقدانه القدرة على الكلام، لكنه ظل واعيًا ذهنيًا حتى النهاية المرة. صدمت تده وره المأساوي ووفاته العالم وساعدت في إنهاء موضة مقويات الراديوم.











الشكل 7.4 علم الأنسجة للنسيج العطمى.)أ(العطم المضغوط والإسفنجى فى مقطع طولى لعطم الفخذ.)ب(الهيكل ثلاثى الأبعاد للعطم المضغوط. ص
فائح أوستيون واحدة متداخلة لتطهر ترتيبها المتناوب لألياف الكولاجين.
)ح(علم الأنسجة للعطم الإسفنجى منزوع التكلس ونخاع العطم الأحمر.)د(المطهر المجهرى لمقطع عرضى لأوستيون من العطم المضغوط المجفف. توضح اللوح
ة الفنية علاقة بنية الخلية العطمية بأشكال اللاكونا والقنوات الدقيقة للعطم. A&PR

a: ب كريستوفر/صورة الامى ستوك؛ c: خوسيه لويس كالفو/شترستوك؛ d: دينيس ستريب/ماكجرو هيل

7.2d العظم الإسفنجى

العظم الإسفنجى يتكون من شبكة من الشرائح الرقيقة المسماة الشوكيات[15](قضبان أو أشواك) و التراكيب العظمية[16](صفائح أو عوارض رقيقة) (السكل 7.4أ–ح؛ انظر أيضاً الشكل 7.21أ). على الرغم من أنه متكلس وصلب، إلا أنه يُسمى بذلك بسبب مظهره الإسفنجى. يغطيه الغشاء الداخلى (endosteum) وتخترقه فراغات مملوءة بنخاع العظم. المصفوفة مرتبة فى طبقات مثل تلك الموجودة فى العظم المضغوط، لكن هناك عدد قليل من وحدات الأستيون. القنوات المركزية غير ضرورية هنا لأن أى خلية عظمية (osteocyte) ليست بعيدة جداً عن النخاع. العظم الإسفنجى مصمم جيداً ليمنح العظم قوة مع إضافة أقل وزن ممكن. تراكيبه العظمية ليست مرتبة عشوائياً كما قد يبدو للوهلة الأولى، بل تتطور على طول خطوط الإجهاد فى العظم (الشكل 7.5). العظم الإسفنجى لديه مساحة سطحية أكبر بكثير معرضة لتأثير الخلايا الهادمة للعظم (osteoclasts) مقارنة بالعظم المضغوط. لذلك، عندما تقوم الخلايا الهادمة بإعادة امتصاص نسيج العظم، فإن ذلك يحدث فى الغالب من العظم الإسفنجى، كما نرى فى مرض هشاشة العظام (انظر التعمق 7.4 فى نهاية هذا الفصل).

7.2e نخاع العظم

نخاع العظم هو مصطلح عام للنسيج الطرى الذى يشغل تجويف النخاع فى العظم الطويل، والفراغات بين التراكيب العظمية فى العظم الإسفنجى، والقنوات المركزية الأكبر. هناك نوعان من النخاع—الأحمر والأصفر. يمكننا فهم اختلافاتهما بشكل أفضل من خلال النظر فى كيفية تغير النخاع على مدار حياة الإنسان.

فى الطفل، يكون تجويف النخاع فى كل عظم تقريباً مملوءاً بـ نخاع العظم الأحمر (النسيج النخاعى). وغالباً ما يوصف هذا بأنه نسيج مكون للدم (hematopoietic)[17] (he-MAT-o-poy-ET-ic)—وهو نسيج يُنتج خلايا الدم—ولكنه فى الواقع يتكون من عدة أنسجة مرتبة بشكل دقيق ومعقد، ويُعتبر عضوًا مستقلاً بحد ذاته. يتم وصف هيكله بمزيد من التفصيل فى القسم 21.1هـ والشكل 21.8.

فى البالغين، يتم استبدال معظم النخاع الأحمر بـ نخاع العظم الأصفر الدهنى، مثل الدهون الموجودة فى مركز عظم الفخذ. يقتصر النخاع الأحمر بعد ذلك على الجمجمة، والفقرات، والأضلاع، وعظم القص، وجزء من حزام الحوض، والرؤوس القريبة لعظم العضد وعظم الفخذ (الشكل 7.6). لا ينتج نخاع العظم الأصفر الدم بعد الآن، ولكن فى حالة الإصابة بفقر الدم الشديد أو المزمن، يمكن أن يتحول مرة أخرى إلى نخاع أحمر ويستأنف وظيفته فى إنتاج الدم.

قبل أن تتابع

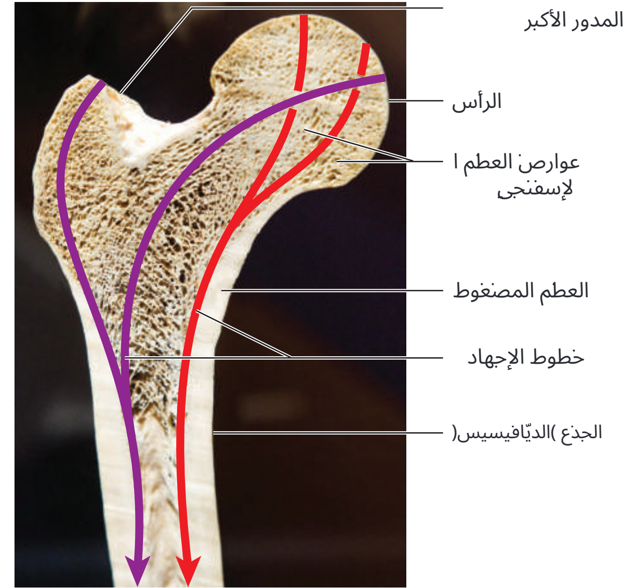
أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

5. افترض أن لديك صورًا مجهرية إلكترونية غير معنونة لأنواع الخلايا العظمية الأربعة والأنسجة المجاورة لها. سم الخلايا الأربع وشرح كيف يمكنك تمييز كل واحدة بصريًا عن الثلاث الأخرى.

6. اذكر ثلاثة مكونات عضوية لمصفوفة العظم.

7. ما هى البلورات المعدنية للعظم، مم تتكون؟

[15] spic = رمح، نقطة؛ ule = صغير
[16] trabe = عارضة؛ cul = صغير
[17] hemato = دم؛ poietic = تكوين

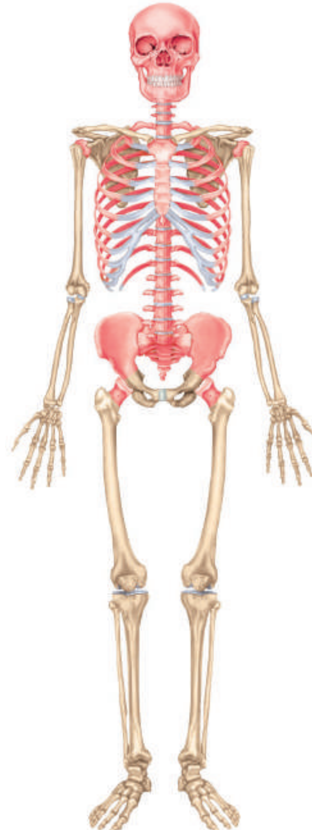


الشكل 7.5 هيكل العظم الإسفنجى بالنسبة للإجهاد الميكانيكى. فى هذا المقطع الأمامى لعظم الفخذ، يمكن رؤية العوارض (التربيكولات) للعظم الإسفنجى موجهة على طول خطوط الإجهاد الميكانيكى الناتج عن وزن الجسم أو شد العضلة.

بى كريستوفر/صورة من ألامى ستوك

8. ارسم مقطعًا عرضيًا لعظمون (الوحدة العظمية) وقم بتسمية أجزائه الرئيسية.

9. ما هما نوعا نخاع العظم؟ ماذا يعنى hema ما المقصود بالنسيج التكوينى؟ أى نوع من نخاع العظم يتناسب مع هذا الوصف؟



الشكل 7.6 توزيع النخاع العظمى الأحمر والأصفر لدى البالغين.

ما هى أكثر الأماكن سهولة للوصول إليها لأخذ نخاع العظم الأحمر من البالغ؟

الأوعية الدموية، تصبح خلايا بناء العظم)أوستيو بلاستات(، وتفرز نسيجًا عظمياً طريًا كولاجينيًا *يُسمى الأوستيويد*[19] *)نسيج ما قبل العظم(*)الشكل 7.8(فى الاتجاه بعيدًا عن الوعاء. يشبه نسيج الأوستيويد العظم لكنه لم يتكلس بعد.

2 تُنيت الخلايا البانية للعظم العديد من التغصُّنات الدقيقة التى تخترق النسيج العظمى الأولى. تُعزز هذه التغصُّنات ترسيب فوسفات الكالسيوم والمعادن الأخرى على ألياف الكولاجين فى النسيج العظمى الأولى، مما يُصلب المصفوفة. يؤدى استمرار ترسيب النسيج العظمى الأولى وتعدنه إلى ضغط الأوعية الدموية ونخاع العظم المستقبلى فى مساحات أضيق وأضيق. عندما تُحاط الخلايا البانية للعظم بالمصفوفة المتكلسة، تتحول إلى خلايا عظمية — حيث تسكن أجسامها الخلوية الفراغات)اللاكونا(، وتمتد تغصُّناتها إلى القنوات الدقيقة)الكاناليكولى(.

3 أثناء حدوث العمليات السابقة، يتكثف المزيد من النسيج المتوسط المجاور للعظم النامى ويكوّن غشاءً ليفيًا يُسمى السمحاق على كل سطح. يتحول العظم الإسفنجى إلى شبكة من الحواجز العظمية المتكلسة الرقيقة تشبه خلية النحل.

4 على السطوح، تودع الخلايا البانية للعظم تحت السمحاق طبقات من العظم، وتملأ الفراغات بين الحواجز العظمية، وتُنشئ منطقة من العظم المضغوط على كل جانب، بالإضافة إلى زيادة سمك العظم بشكل عام. تُنتج هذه العملية التركيب الشبيه بالسندويتش النموذجى لعظم الجمجمة المسطح — طبقة من العظم الإسفنجى بين طبقتين من العظم المضغوط.

[19] *oste*= عظم؛ *oid* = مثل، يشبه

تطور العظام **7.3**

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف آليتين لتكوين العظام؛ و

ب. شرح كيف يستمر العظم الناضج فى النمو وإعادة التشكيل نفسه.

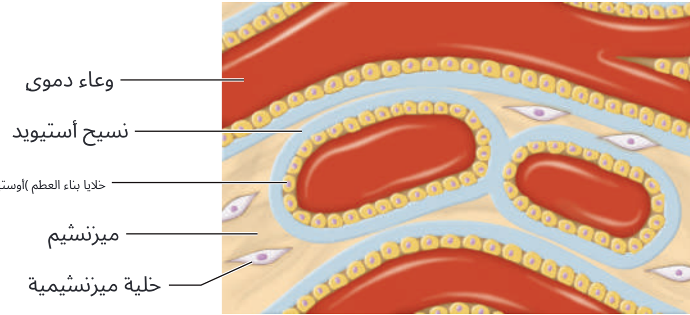
تسمى عملية تكوين العظام التنسج العظمى-(OSS-ih-fih-CAY-shun) أو تكوين العظم. هناك طريقتان للتنسج العظمى— *داخل الغشاء* و *داخل الغضروف*. كلاهما يبدأ بالنسيج الجنينى *الميزنكيمى* (MEZ-en-kime).

7.3أ التنسج العظمى داخل الغشاء

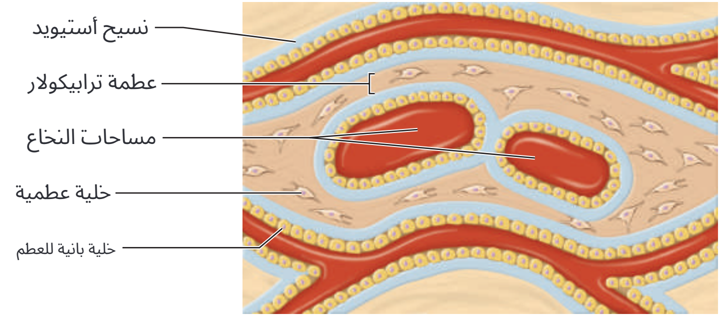
التعظّم داخل الغشاء[18] (IN-tra-MEM-bra-nus) يُنتج العظام المسطحة للجمجمة، معظم عظمة الترقوة)عظمة الترقوة(، وجزء من الفك السفلى. تابع مراحله فى الشكل 7.7 أثناء قراءة الوصف المرقم المقابل هنا.

1 يتكثف النسيج المتوسط أولاً إلى طبقة ناعمة من الأنسجة مشبعة بالأوعية الدموية — الغشاء الذى يُشار إليه بالتعظّم داخل الغشاء. *الخلايا المتوسطة تصطف على طول*

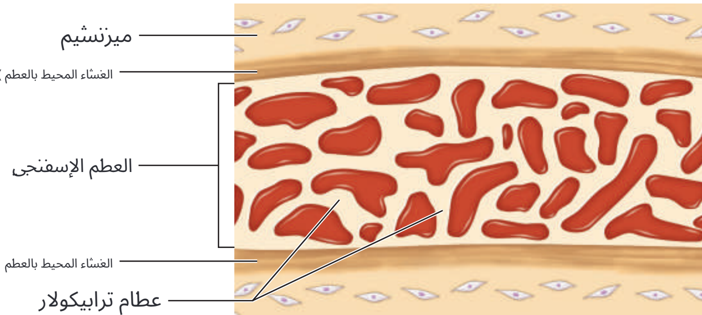
[18] *intra*= داخل؛ *membran*= غشاء



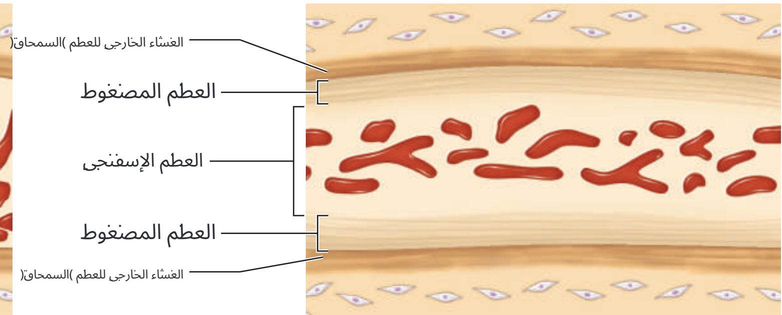
1 ترسيب نسيج الأستيويد فى الميزنشيم الجنينى



2 تكلس نسيج العظم الأولى واحتجاز خلايا العظم



3 هيكل خلية العظم الإسفنجى مع تطور الغشاء المحيط بالعظم



4 ملء الفراغ لتشكيل عظم مضغوط على الأسطح، مع ترك العظم الإسفنجى فى الوسط

الشكل 7.7 التعظم داخل الغشاء. تم رسم الأشكال بمقاييس مختلفة، مع أعلى تكبير وتفصيل فى البداية، والتراجع للحصول على نظرة عامة أوسع فى نهاية العملية.

بمساعدة الفصل 8، سمِّ على الأقل عظمتين محددتين غير الترقوة تتكونان بهذه العملية.

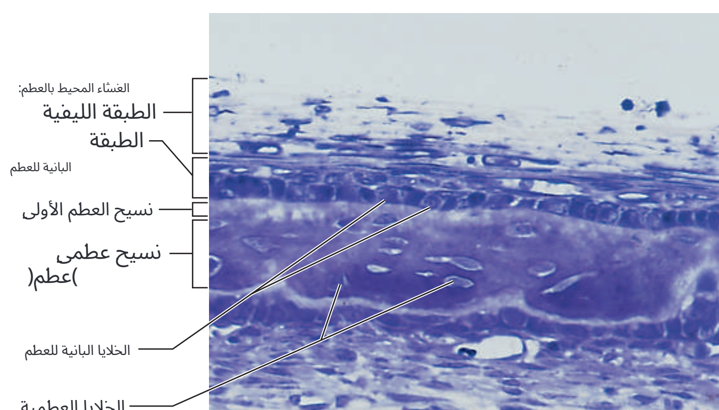
7.3ب التنسج الغضروفى للعظام

التنسج الغضروفى العظمى[20])EN-doe-CON-drul(هو عملية ى تطور فيها العظم من نموذج مسبق يتكون من غضروف زجاجى. يبدأ ذلك حوالى الأسبوع السادس من التطور الجنينى ويستمر حتى العشر ينات من عمر الإنسان. تتطور معظم عظام الجسم بهذه الطريقة، بما فى ذلك الفقرات، الأضلاع، القص، الكتف، الحزام الحوضى، وعظام ا لأطراف.

يوضح الشكل 7.9 الخطوات التالية فى التنسج الغضروفى العظم ى. يستخدم هذا الشكل عظم مشط من منطقة راحة اليد كمثال بس بب بساطته النسبية، حيث يحتوى على صفيحة إبيفيزية واحدة فقط) مركز نمو(. تتطور العديد من العظام الأخرى بطرق أكثر تعقيدًا، حيث تحتوى على صفيحة إبيفيزية فى كلا الطرفين أو عدة صفائح فى كل ط رف، لكن العملية الأساسية هى نفسها.

1 يتطور النسيج المتوسط إلى كتلة من الغضروف الزجاجى، مغطاة بغشاء ليفى)الغشاء المحيط بالغضروف(، فى موقع العظم المستـ قبلى. لفترة من الزمن، ينتج الغشاء المحيط بالغضروف خلايا غ ضروفية وينمو نموذج الغضروف فى السمك.

2 فى مركز التنسج الأولى بالقرب من منتصف هذا الغضروف، تبدأ ا لخلايا الغضروفية فى الانتفاخ والموت، بينما تتكلس الجدران الر قيقة بينها. يتوقف الغشاء المحيط بالغضروف عن إنتاج الخلايا الغضرو فية ويبدأ فى إنتاج الخلايا البانية للعظم)الأوستيو بلاستـ(. تودع هذه الخلايا طوقًا رقيقًا من العظم حول منتصف نموذج الغضروف.

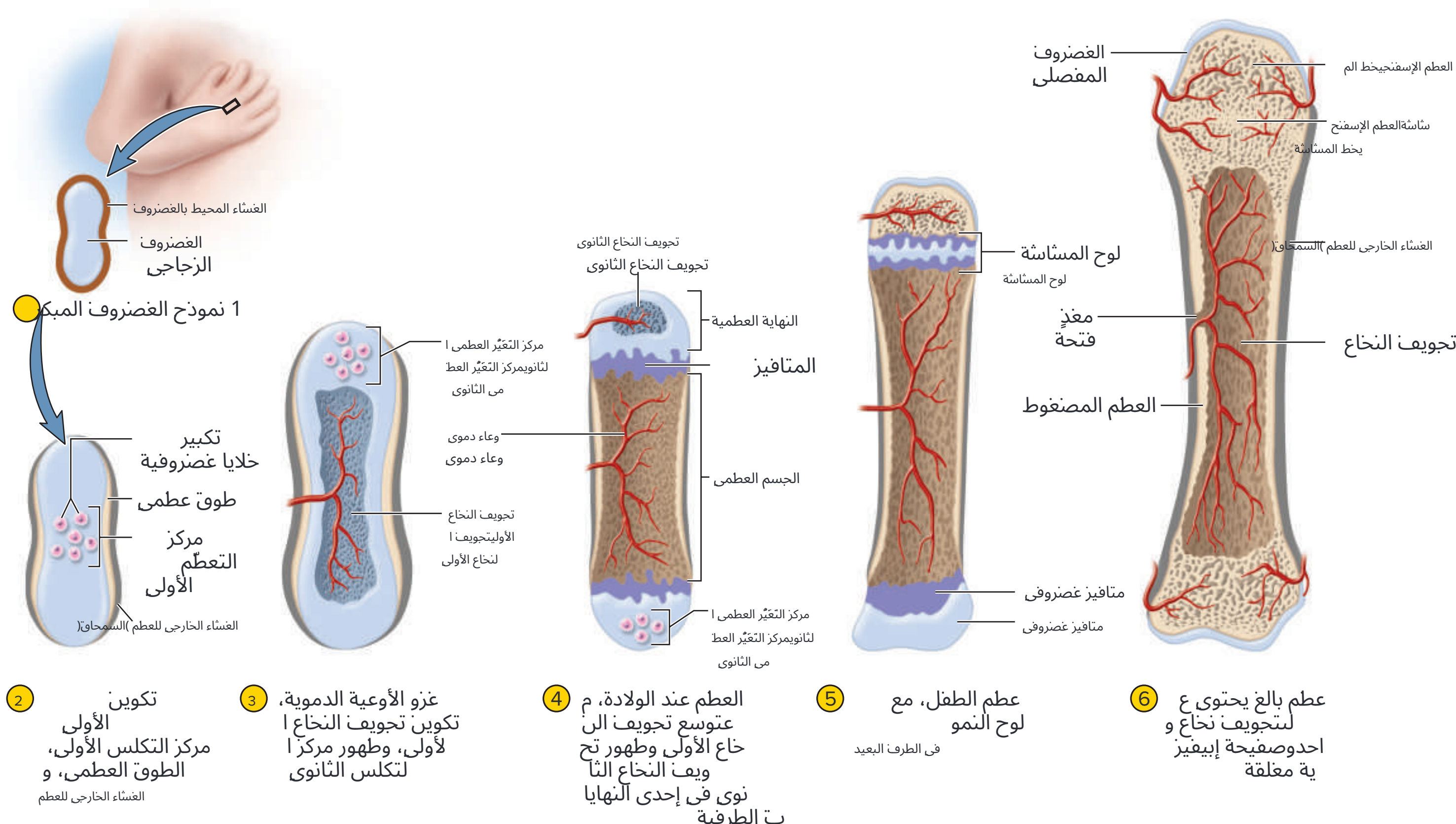


الشكل 7.8 التعظم داخل الغشاء فى جمجمة الجنين. لاحظ طبقات نسيج العظم الأولى، الخلايا البانية للعظم، والغشاء الليفى المحيط بالع ظم على جانبى العظم.

كين سالادين

يلعب التنسج الغشائى العظمى أيضًا دورًا مهمًا فى زيادة سمك ا لعظام الطويلة وتقويتها وإعادة تشكيلها طوال الحياة، كما سيناقش لا حقًا. فى جميع أنحاء الهيكل العظمى، هو طريقة ترسيب نسيج جديد على سطح العظم حتى بعد أن تتوقف العظام عن النمو فى الطول.

[20] إندو = داخل؛ كوندرى = غضروف



الشكل 7.9 مراحل التنسج الغضروفى العظمى. عظم مشط اليد. اللون الأزرق الفاتح يمثل الغضروف الزجاجى؛ اللون البنفسجى يشير إلى مناطق استبدال الغضروف بالعظم؛ واللون البنى يمثل العظم المتكلس.

بمساعدة الفصل 8، سمِّ على الأقل عظمتين محددتين تحتويان على صفيحتين إبيفيزيتين)قريبة وبعيدة(فى المرحلة 5.

الغضروف الذى يغطى كل سطح مفصلى، وإلى صفيحة النها
ية العطمية)EP-ih-FIZ-ee-ul(، وهى جدار رقيق من الغ
ضروف يفصل بين تجاويف النخاع الأولية والثانوية فى أحد أو
كلا طرفى العظم. تستمر الصفيحة خلال فترة الطفولة والمراه
قة وتعمل كمنطقة نمو لتمديد العظم.

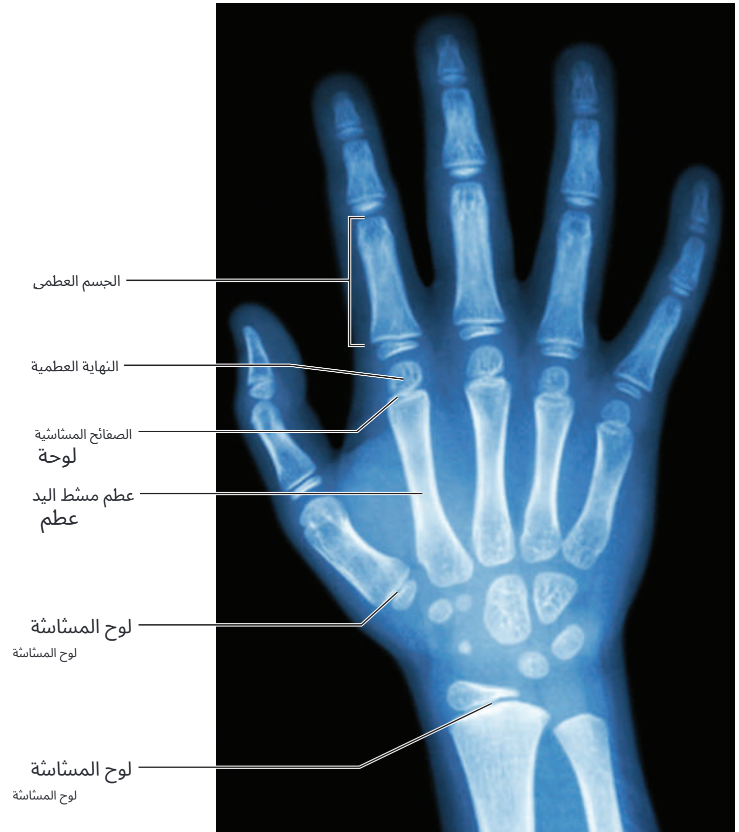
6 بحلول أواخر سن المراهقة وحتى أوائل العشرينات، يتم استهلاك كل الغضروف المتبقى
فى صفيحة النهاية العظمية عادةً ويغلق الفاصل
بين النهاية العظمية والعمود العظمى. ثم تتحد تجاويف النخاع الأولية
والثانوية لتصبح تجاويفًا واحدة.

7.3ح نمو العظام وإعادة تشكيلها

لا ينتهى التّحَجُّر عند الولادة، بل يستمر طوال الحياة مع
نمو العظام وإعادة تشكيلها. تنمو العظام فى اتجاهين:
الطول والعرض.

تمديد العظم

لفهم النمو فى الطول، يجب أن نعود إلى صفيحات النهاية العظمية ا
لمذكورة سابقًا)انظر الشكل 7.9، الخطوة 5(. من الطفولة حتى المراه
قة، توجد صفيحة نهاية عظمية فى أحد أو كلا طرفى العظم الطويل، ع
ند التقاطع بين العمود العظمى والنهاية العظمية. فى صور الأشعة ال
سينية، تظهر كخط شفاف عبر نهاية العظم، لأنها لم تتحجر بعد)الشك
ل 7.11(. الصفيحة النهاية العطمية



الشكل 7.11 صورة أشعة سينية ليد طفل. لوحات المشاش الغضر
وفية واضحة عند أطراف العظام الطويلة. العظام الطويلة فى اليد والأصابع
تتطور من خلال لوحة مشاش واحدة فقط.
لاحظ أن المعصم لا يزال إلى حد كبير غضروفيًا)شفاف فى الأشعة السينية(.
قارن هذا بصورة الأشعة السينية ليد بالغ فى الشكل 8.36c.

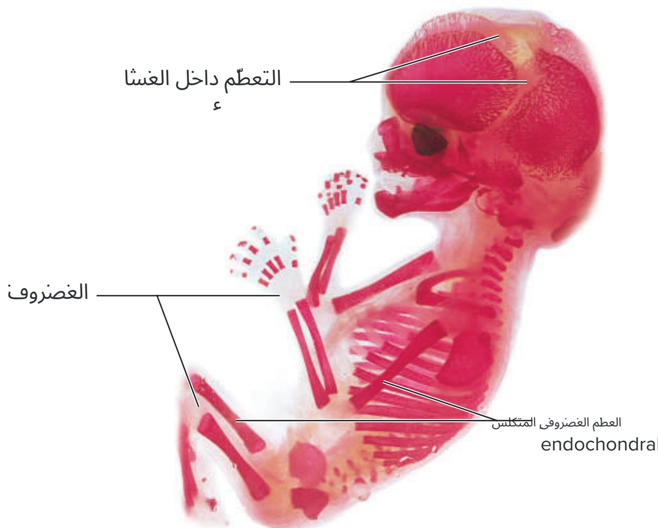
بوودول جاتوراوتيتشاى / Shutterstock

تعزيزه مثل حلقة المناديل. يُعتبر الغضروف المحيط السابق
الآن غشاء عظمى)بريوستيم(. مع موت الخلايا الغضروفية)خلايا الكوندروسيت(فى منتصف
النموذج، تندمج تجاويفها لتصبح تجويفًا واحدًا.

3 تغزو الأوعية الدموية مركز التكلس الأولى، حاملةً معها
خلايا هاضمة للعظم)أوستيوكلاست(التى تهضم النسيج المتكلس. هذا
يخلق مركزًا مجوفًا يُسمى التجويف النخاعى الأولى.
تصل أيضًا خلايا بناء العظم)أوستيو بلاست(وتودع طبقات من الع
ظم تبطن التجويف، مما يثخن العمود. مع زيادة سماكة وطول الطوق
العظمى تحت الغشاء العظمى، تتقدم موجة موت الغضاريف نحو
كل نهاية من العظم. تتبع خلايا هاضمة العظم فى التجويف النخاعى ه
ذه الموجة، مذابة بقايا الغضروف المتكلس وموسعة التجويف النخاع
ى فى الجزء الأوسط)الديأفيسيس(. المنطقة التى يحدث فيها الان
تقال من الغضروف إلى العظم عند كل نهاية من التجويف النخاعى ا
لأولى تُسمى الميتافيز)metaphysis( )مى-تاف-ى-سيس(. قريبًا، يح
دث تضخم وموت خلايا الكوندروسيت وغزو الأوعية الدموية فى نهاية ا
لعظم)الإيبيفيسيس(أيضًا، مما يخلق مركز تكلس ثانوى. فى ع
ظام المتوسط)الميتاكاربال(، كما هو موضح فى الشكل، يحدث هذا
فى إيبيفيسيس واحد فقط. فى العظام الأطول فى الذراعين، الساعد
ين، الساقين والفخذين، يحدث فى كلا الطرفين.

4 المركز الثانوى للتكلس يتجوف بنفس العملية التى تحدث فى
الديأفيسيس، مولدًا تجويف نخاعى ثانوى فى الإيبيفيسيس.
يتوسع هذا التجويف من المركز فى جميع الاتجاهات. عند الو
لادة، عادةً ما يبدو العظم كما فى الخطوة 4 فى الشكل. فى ا
لعظام التى تحتوى على مركزين ثانويين للتكلس، يتأخر أحد ا
لمراكز عن الآخر، لذا عند الولادة يوجد تجويف نخاعى ثانوى
فى أحد الطرفين بينما يبدأ نمو خلايا الكوندروسيت فى الطرف
الآخر.
مفاصل الأطراف لا تزال غضروفية عند الولادة، تمامًا كما هى فى الجنين
عمر 12 أسبوعًا فى الشكل 7.10.

5 خلال فترة الرضاعة والطفولة، تمتلئ الإيبيفيسيس
بالعظم الإسفنجى. يصبح الغضروف محدودًا على المفصل



الشكل 7.10 الهيكل العظمى الجنينى فى الأسبوع 12. المناطق المصبوغة
بالأحمر متحجرة فى هذا العمر، فى حين تظهر مفاصل الكوع والمعصم والرك
بة والكاحل شفافة لأنها لا تزال غضروفية.

لماذا تكون مفاصل الرضيع أضعف من مفاصل الطفل الأكبر سنًا؟

Biophoto Associates/Science Source

يحدث ذلك في مركز التكلس الأولي للجنين. تصبح جدران الم
صفوفة بين اللاكونات رقيقة جدًا.

4 منطقة التكلس. تُترسب المعادن في المصفوفة
بين أعمدة اللاكونا وتتكلس الغضروف.
هذه ليست الترسبات المعدنية الدائمة للعظم، بل هي د
عم مؤقت فقط للغضروف الذي قد يضعف قريبًا بسبب تح
لل الفراغات الموسعة.

5 منطقة ترسيب العظم. داخل كل عمود، تتحلل الجدران
بين اللاكونات وتموت الخلايا الغضروفية.
هذا يحول كل عمود إلى قناة طولية)فراغات واضحة في الشكل(
، والتي تغزوها على الفور الأوعية الدموية ونخاع العظم من تجوي
ف النخاع. تصطف الخلايا البانية للعظم على جدران هذه القنوات
وتبدأ في ترسيب طبقات متحدة المركز من المصفوفة، بينم
ا تقوم الخلايا الهادمة للعظم بإذابة الغضروف المتكلس مؤقتًا.

تخلق عملية ترسيب العظم في المنطقة 5 منطقة من العظم الإ
سفنجي في نهاية تجويف النخاع المواجه للميتافيز.
يبقى هذا العظم الإسفنجي مدى الحياة، على الرغم من وجود تغييرات واسعة النطاق طوال الحياة.

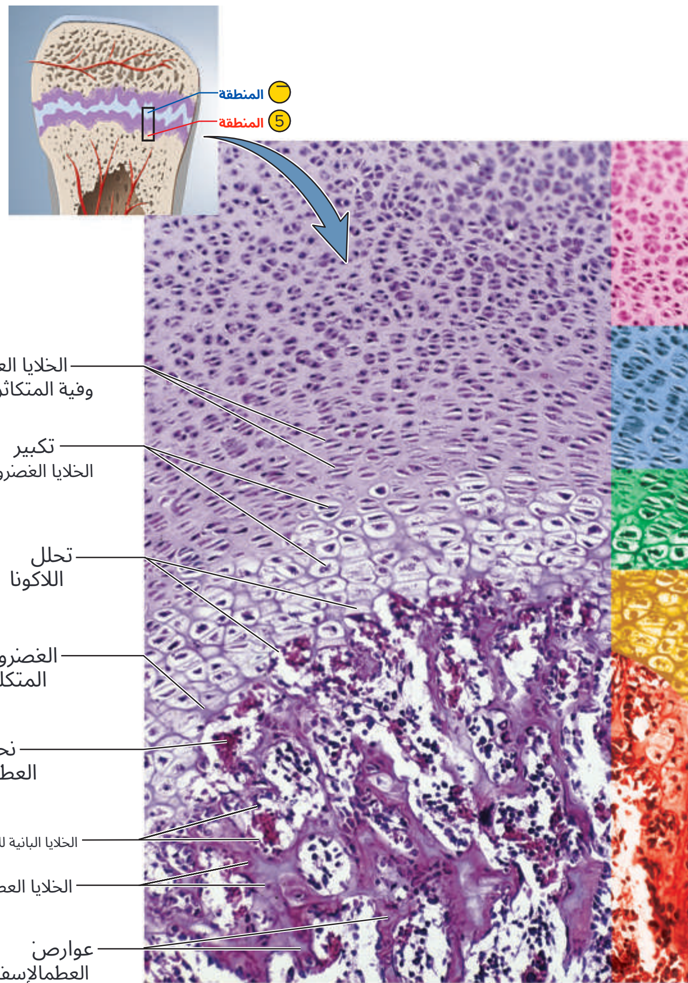
اللوح هو منطقة انتقال من الغضروف إلى العظم، ويعمل كمنطقة نمو
حيث تطول العظام. النمو هنا مسؤول عن زيادة طول الشخص.

يتكون صفيحة النمو من غضروف زجاجي نموذجي في الوسط، مع
منطقة انتقالية على كل جانب حيث يتم استبدال الغضروف بالعظم. تُ
سمى المنطقة الانتقالية، التي تواجه كل تجويف نخاعي، بالمتافيز)met
aphysis(مي-تاف-ي-سيس(. في الشكل 7.9، الخطوة 4، ال
غضروف هو المنطقة الزرقاء وكل متافيز يظهر باللون البنفسجي.
الشكل 7.12 يُظهر التركيب النسيجي للميتافيزيس و
الخطوات التالية في استبدال الغضروف بالعظم.

1 منطقة الغضروف الاحتياطي. تتكون هذه المنطقة، الأبعد عن
تجويف النخاع، من غضروف هيالين نموذجي مع خلايا غضروف
ية راكدة، لم تظهر بعد أي علامة على التحول إلى عظم.

2 منطقة تكاثر الخلايا. بالقرب قليلاً من تجويف النخاع، تتكاثر
الخلايا الغضروفية)خلايا الغضروف(وتترتب في أعمدة طولية
من الفجوات المسطحة.

3 منطقة تضخم الخلايا. بعد ذلك، تتوقف الخلايا الغضروفية عن
الانقسام وتبدأ في التضخم)التمدد(، تمامًا كما



الشكل 7.12 مناطق الميتافيز. تُظهر هذه الصورة المجهرية الانتقال من الغضروف إلى العظم في منطقة النمو لعظم طويل.
أي منطقتين في هذا الشكل تفسران نمو طول الطفل؟

فيكتور إيروسشينكو

تشبه الأوستيونات تلك الموجودة فى أعماق العظم. تنتج هذه العملية طبقات السطح من العظم التى تُسمى *الصفائح المحيطية* كما وُصفت سابقًا. مع زيادة قطر العظم، يتسع أيضًا تجويف النخاع. يتم تحقيق ذلك بواسطة العظمات الهادمة)الأوستيوكلاستات(فى الغشاء الداخلى للعظم التى تذيب النسيج على السطح الداخلى للعظم. وهكذا، تتطور العظام المسطحة عن طريق التنسج العظمى داخل الغشاء فقط، فى حين تتطور العظام الطويلة من خلال مزيج من الطريقتين التنسج العظمى داخل الغشاء والتنسج الغضروفى.

إعادة تشكيل العظم

بالإضافة إلى نموها، يتم إعادة تشكيل العظام باستمرار طوال الحياة من خلال امتصاص العظم القديم وترسيب الجديد. تستبدل هذه العملية حوالى 10% من نسيج الهيكل العظمى سنويًا. تُطلق المعادن فى الدم لاستخدامها فى أماكن أخرى؛ تعيد تشكيل العظام استجابةً للاستخدام وعدم الاستخدام؛ وتصلح الكسور الدقيقة، مما يمنع تطورها إلى فشل عظمى كارثى مشابه لإرهاق المعادن.

ينص قانون وولف[23] للعظم على أن بنية العظم تتحدد بالضغوط الميكانيكية المطبقة عليه، وبالتالى يتكيف العظم لتحملها. يُعد قانون وولف مثالًا رائعًا على تكامل الشكل والوظيفة، حيث يُظهر أن شكل العظم يتشكل بناءً على تجربته الوظيفية. يتضح ذلك جيدًا فى الشكل 7.5، حيث نرى أن التراكيب الإسفنجية للعظم تقع على طول خطوط الضغط المطبقة على عظم الفخذ. لاحظ وولف أن هذه الخطوط كانت مشابهة لتلك التى يعرفها المهندسون فى الرافعات الميكانيكية.

تأثير الضغط على تطور العظم واضح جدًا فى لاعبى التنس النخبة، حيث يكون العظم القشرى لذراع المضرب أكثر سمكًا بنسبة تصل إلى 35% مقارنة بالذراع الأخرى. تكون العظام الطويلة للأطراف أكثر سمكًا فى منتصف العمود، حيث تتعرض لأكبر قدر من الضغط. يستخدم أخصائيو العلاج الطبيعى معرفتهم بقانون وولف فى تصميم برامج تعافى المرضى من الكسور والاضطرابات الهيكلية الأخرى.

يحدث إعادة تشكيل العظم من خلال العمل التعاونى بين الخلايا البانية للعظم)الأوستيو بلاستات(والخلايا الهادمة للعظم)الأوستيوكلاستات(. إذا كان العظم قليل الاستخدام، تزيل الأوستيوكلاستات المصفوفة وتتخلص من الكتلة غير الضرورية. إذا كان العظم مستخدمًا بكثافة أو تم تطبيق ضغط مستمر على منطقة معينة من العظم، تودع الأوستيو بلاستات نسيجًا عظميًا جديدًا وتزيد من سمكه. ونتيجة لذلك، تتطور العظام الناعمة نسبيًا للرضيع أو الطفل الصغير إلى مجموعة متنوعة من النتوءات والحدبات والأشواك السطحية)الموضحة فى الفصل 8(عندما يبدأ الطفل فى المشى. على سبيل المثال، التروكانتر الأكبر لعظم الفخذ)انظر الشكل 7.5(هو نمو عظمى ضخم غير موجود عند الولادة. يتنشط تطوره بواسطة شد الأوتار من عدة عضلات قوية فى الورك عندما يبدأ الطفل فى الوقوف والمشى.

فى المتوسط، تمتلك العظام كثافة وكتلة أكبر لدى الرياضيين والأشخاص الذين يمارسون الأعمال اليدوية الثقيلة مقارنة بالأشخاص الذين يعيشون حياة خاملة. يستخدم علماء الأنثروبولوجيا الذين يدرسون بقايا الهياكل العظمية القديمة هذا النوع من الأدلة للمساعدة فى التمييز بين أعضاء الطبقات الاجتماعية المختلفة، مثل التمييز بين الأرستقراطيين والعمال. حتى عند دراسة بقايا هياكل عظمية حديثة، كما فى التحقيق فى وفاة مشبوهة، يلعب قانون وولف دورًا حيث تقدم العظام أدلة عن جنس الشخص وطوله ووزنه وحالته الغذائية وعاداته فى العمل أو التمرين وهويته العرقية وتاريخه الطبى.

يعتمد إعادة تشكيل العظم المنظم على توازن دقيق بين الترسيب والامتصاص، بين الأوستيو بلاستات والأوستيوكلاستات. إذا تفوق أحد العمليتين على الأخرى، أو حدثت كلتاهما

إعادة التشكيل. ولكن حول محيط تجويف النخاع، تستمر عملية التكلس لتحويل هذا العظم الإسفنجى إلى عظم مضغوط.

تقوم الخلايا البانية للعظام التى تبطن القنوات المذكورة بإيداع طبقة تلو الأخرى من مصفوفة العظم، مما يجعل القناة تضيق تدريجياً. تصبح هذه الطبقات هى الصفائح الحلزونية لمكون العظم)الأوستيون(. وأخيراً، يبقى فقط قناة رفيعة، وهى القناة المركزية لأوستيون جديد.

الخلايا البانية للعظم المحاصرة فى المصفوفة تتحول إلى خلايا عظمية)أوستيوسايتس(.

▶▶▶ طبق ما تعرفه

فى أوستيون معين، أى الصفائح هى الأقدم — تلك التى تقع مباشرة بجانب القناة المركزية أم تلك التى تحيط بمحيط الأوستيون؟ اشرح إجابتك.

كيف ينمو الطفل أو المراهق فى الطول؟ تضاعف الخلايا الغضروفية)تشوندروسايتس(فى المنطقة 2 والتضخم فى المنطقة 3 يدفعان باستمرار منطقة الغضروف الاحتياطى)1(نحو أطراف العظم، مما يؤدى إلى استطالة العظم. فى الأطراف السفلية، يتسبب هذا فى زيادة طول الشخص، بينما تنمو عظام الأطراف العلوية بشكل متناسب.

لذا، فإن استطالة العظم هى فى الواقع نتيجة لنمو الغضروف. النمو الغضروفى من الداخل، عن طريق تضاعف الخلايا الغضروفية وإيداع مصفوفة جديدة فى الداخل، يسمى النمو البينى)interstitial growth(. أكثر أشكال التقزم شيوعاً ينتج عن فشل نمو الغضروف فى العظام الطويلة)انظر التعمق 7.2(.

فى أواخر سن المراهقة وحتى أوائل العشرينات، يتم استنفاد كل الغضروف فى صفيحة المشاشة. تتحد الآن تجاويف النخاع الأولية والثانوية فى تجويف واحد. المنطقة الوصلية حيث تلتقى مملوءة بعظم إسفنجى، وموقع صفيحة المشاشة الأصلية محدد بخط من العظم الإسفنجى الأكثر كثافة قليلاً يسمى خط المشاشة)انظر الأشكال 7.1؛ 7.5؛ و7.9، الخطوة 6(. غالباً ما يشير حافة دقيقة على سطح العظم إلى موقع هذا الخط. عندما تُستنفد صفيحة المشاشة، نقول إن المشاشات "أغلقت" لأنه لا يظهر فجوة بين المشاشة والعمود العظمى فى الأشعة السينية. بمجرد إغلاق جميع المشاشات فى الأطراف السفلية، لا يمكن للشخص أن يزداد طولاً. تغلق صفائح المشاشة فى أعمار مختلفة فى عظام مختلفة وفى مناطق مختلفة من نفس العظم. تتأثر عمليات ومعدلات الاستطالة وإغلاق المشاشة بشكل خاص بهرمون النمو والستيرويدات الجنسية)انظر القسم 7.4د(. غالباً ما يُستخدم حالة الإغلاق فى عظام الهيكل العظمى شبه البالغ فى الطب الشرعى لتقدير "عمر العظم" للفرد عند الوفاة.

اتساع وتثخين العظام

تنمو العظام أيضاً باستمرار فى القطر والسماكة. يشمل هذا عملية تسمى النمو الإضافى)appositional growth(، وهى إيداع نسيج جديد على السطح. ينمو الغضروف بواسطة كل من النمو البينى والنمو الإضافى. أما فى العظم، فإن الخلايا العظمية المحاطة بالمصفوفة المتكلسة لديها مساحة قليلة لإيداع المزيد من المصفوفة داخلياً. لذلك يقتصر العظم على النمو الإضافى.

يحدث النمو الإضافى من خلال التنسج العظمى الغشائى على سطح العظم. يقوم الخلايا العظمية)أوستيو بلاست(فى الطبقة الداخلية من السمحاق بإيداع نسيج العظم الأولى على سطح العظم، وتكلسه، ويصبح محاصراً فيه كخلايا عظمية)أوستيو سايت(— تماماً مثل العملية الموضحة فى الشكل 7.8. يقومون بوضع المصفوفة على شكل طبقات موازية للسطح، وليس على شكل أسطوانى

[21] *inter* = بين؛ *stit* = وضع، وقوف

[22] *ap* = *ad* = إلى، قرب؛ *posit* = وضع

[23] يوليوس وولف)1836–1902(، عالم التشريح والجراح الألمانى

إذا حدث النمو بسرعة كبيرة، تظهر تشوهات عظمية مختلفة، واضطرا بات فى النمو، وأمراض أخرى مثل *التهاب العظم المشوه*)مرض باج يت(، *هشاشة العظام الخلقية*)مرض العظام الهشة(، و*هشاشة العظام*)انظر الجدول 7.2 والنظرة المتعمقة 7.4(.

ل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

10. صف مراحل التنسج العظمى الغشائى. اذكر عظمة تتكون بهذه الطريقة.
11. صف كيف يتحول نموذج الغضروف إلى عظمة طويلة فى التن سج العظمى الغضروفى.
12. صف المناطق الخمس للميتافيز والاختلافات الرئيسية بينها.
13. كيف يفسر قانون وولف بعض الفروقات الهيكلية بين عظام الطفل الصغير وعظام الشاب؟

فسيولوجيا نسيج العظم 7.4

نتائج التعلم المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف العمليات التى يتم من خلالها إضافة المعادن إلى نسيج ا لعظام وإزالتها منه؛
ب. ناقش دور العظام فى تنظيم مستويات الكالسيوم والفوسفات ف ى الدم؛ و
ج. اذكر الهرمونات الرئيسية التى تنظم فسيولوجيا العظام، ووصف تأثيراتها.

حتى بعد أن تتكون العظمة بالكامل، تظل عضواً نشطاً أيضياً له أدوار عديدة. فهى لا تشارك فقط فى صيانتها ونموها وإعادة تشكيلها، بل تؤثر أيضاً بشكل عميق على باقى الجسم من خلال تبادل المعادن مع سائل الأنسجة. يمكن أن تؤدى اضطرابات توازن الكالسيوم فى الهيك ل العظمى إلى تعطيل وظائف أنظمة الأعضاء الأخرى، وخاصة الجهاز ا لعصبى والعضلى. ولأسباب سيتم شرحها لاحقاً، يمكن أن تسبب هذه الاضطرابات الوفاة بسبب الاختناق.

7.4أ ترسيب المعادن وامتصاصها

ترسيب المعادن)التكلس(هو عملية تبلور يتم فيها أخذ الكالسيوم وا لفوسفات وأيونات أخرى من بلازما الدم وترسيبها فى نسيج العظم، بشكل رئيسى على شكل بلورات إبرية من هيدروكسى أباتيت. يبدأ ال ترسيب فى التكلس الجنينى ويستمر طوال الحياة.

يبدأ الخلايا البانية للعظم)الأوستيو بلاست(العملية بوضع ألياف الكولاجين بنمط حلزونى على طول طول الأوستيون. ثم تصبح هذه الأ لياف مغطاة بالمعادن التى تصلب المصفوفة. تعمل أولى بلورات هي دروكسى أباتيت المتكونة كـ "بلورات بذور" تجذب المزيد من الكالسي وم والفوسفات من المحلول. كلما زاد تكوين هيدروكسى أباتيت، زاد جذبها للمعادن الإضافية من سائل الأنسجة، حتى تتكلس المصفوفة بالكامل.



نظرة أعمق 7.2

التطبيق السريرى

قزامة أخوندروبلاستيك

القزامة الأخوندروبلاستية[24])a-con-dro-PLAS-tic(هى حالة تتوقف فيها العظام الطويلة للأطراف عن النمو فى مرحلة الطفولة، بينما لا يتأثر نمو العظام الأخ رى. ونتيجة لذلك، يكون لدى الشخص قامة قصيرة ولكن رأس وجذع بحجم طبيع ى)الشكل 7.13(. كما يوحى اسمها، تنجم القزامة الأخوندروبلاستية عن فشل فى نمو الغضروف—تحديداً، فشل الخلايا الغضروفية)الخلايا الغضروفية(فى المناطق 2 و3 من الميتافيزيس فى التكاثر والتمدد. وهذا يختلف عن القزامة النخامية ال تى يحدث فيها نقص فى هرمون النمو يعيق نمو جميع العظام، ويكون لدى الشخ ص قامة قصيرة ولكن نسب طبيعية فى كامل الهيكل العظمى.

تنجم القزامة الأخوندروبلاستية عن طفرة عفوية يمكن أن تحدث فى أى وقت يتم فيه تكرار الحمض النووى. لذلك، يمكن لشخصين طبيعيى الطول بدون تاريخ عائلى للقزامة أن ينجبا طفلاً يعانى من القزامة الأخوندروبلاستية. الأليل الطافر سا ئد، لذا فإن نسل القزم الأخوندروبلاستى المتغاير الزيجوت لديه فرصة لا تقل عن 50% لإظهار القزامة، اعتماداً على النمط الجينى للوالد الآخر.

الأشخاص المتجانسون للصفة)الذين يرثونها من كلا الوالدين(عادة ما يولدون أموا تاً أو يموتون قريباً بعد الولادة.



الشكل 7.13 قزامة أخندروبلستية. الطالبة على اليمين، المصورة مع زميلتها فى الغرفة ذات الطول الطبيعى، هى قزمة أخندروبلستية يبلغ طولها حوالى 122 سم)48 بوصة(. كان والداها بطول طبيعى. لاحظ النسبة الطبيعية بين الرأس والجذع ولكن تقصير الأطراف.

جو ديغرانديس/كين سالادين

[24] a = بدون؛ chondr = غضروف؛ plast = نمو

يلعب أيضًا أدوارًا فى التواصل بين الخلايا العصبية وفى انقباض الع
ضلات، وتجلط الدم، والإفراز الخلوى. يُودع الكالسيوم فى الهيكل العظ
مى عندما يكون الإمداد وفيرًا ويتم سحبه عند الحاجة لهذه الأغراض ا
لأخرى. يتبادل الهيكل العظمى حوالى 18% من كالسيومه مع الدم س
نويًا.
يتم تنظيم هذا التبادل بدقة بواسطة الهرمونات للحفاظ على ترك
يز كالسيوم الدم بين 9.2 إلى 10.4 ملغ/ديسيلتر. هذه هامش أمان
ضيق. نقص الكالسيوم، المسمى نقص كالسيوم الدم[27] (HY-po-cal-
SEE-me-uh)، يسبب فرط استثارة الجهاز العصبى مما
قد يؤدى إلى ارتعاشات عضلية، تشنجات، أو تيتانى - عدم قدرة الع
ضلات على الاسترخاء. يمكن أن يؤدى تيتانِى عضلات الحنجرة إلى إغ
لاق مجرى الهواء والتسبب فى الوفاة بالاختناق. فرط كالسيوم الدم، ا
لمسمى فرط كالسيوم الدم[28]، يجعل خلايا الأعصاب والعضلات أقل ا
ستثارة من الطبيعى. يمكن أن يظهر ذلك فى اكتئاب الجهاز العصبى،
اضطرابات عاطفية، ضعف العضلات، ردود فعل بطيئة، وأحيانًا توق
ف القلب.
فرط كالسيوم الدم نادر، لكن نقص كالسيوم الدم يمكن أن ينتج ع
ن مجموعة واسعة من الأسباب بما فى ذلك نقص فيتامين د، الإسها
ل، أورام الغدة الدرقية، أو قصور الغدد الجار درقية. الحمل والرضاعة
يعرضان النساء لخطر نقص كالسيوم الدم بسبب الطلب على الكالس
يوم لتكوين هيكل الجنين ولتصنيع الحليب.

يمكنك أن ترى مدى أهمية مستوى كالسيوم الدم، لكن ما الذى
يسبب انحرافه عن المعدل الطبيعى، وكيف يصحح الجسم هذه الاخ
تلالات؟ يعتمد توازن الكالسيوم على موازنة بين المدخول الغذائى، و
فقدان البول والبراز، والتبادلات مع النسيج العظمى (الشكل 7.14).
يتم تنظيمه بواسطة ثلاثة هرمونات:
الكالسيتريول، الكالسيتونين، و هرمون الغدة الجار درقية.

[27] *نقص* = أقل من الطبيعى؛ *كالسيوم* = الكالسيوم؛ *إيميا* = حالة الدم
[28] *زيادة* = أعلى من الطبيعى؛ *كالسيوم* = الكالسيوم؛ *إيميا* = حالة الدم

▶▶▶ طبق ما تعرفه
اشرح كيف يُجسّد ترسيب العظام مفهوم
التغذية الراجعة الإيجابية الموضح فى الفصل 1.

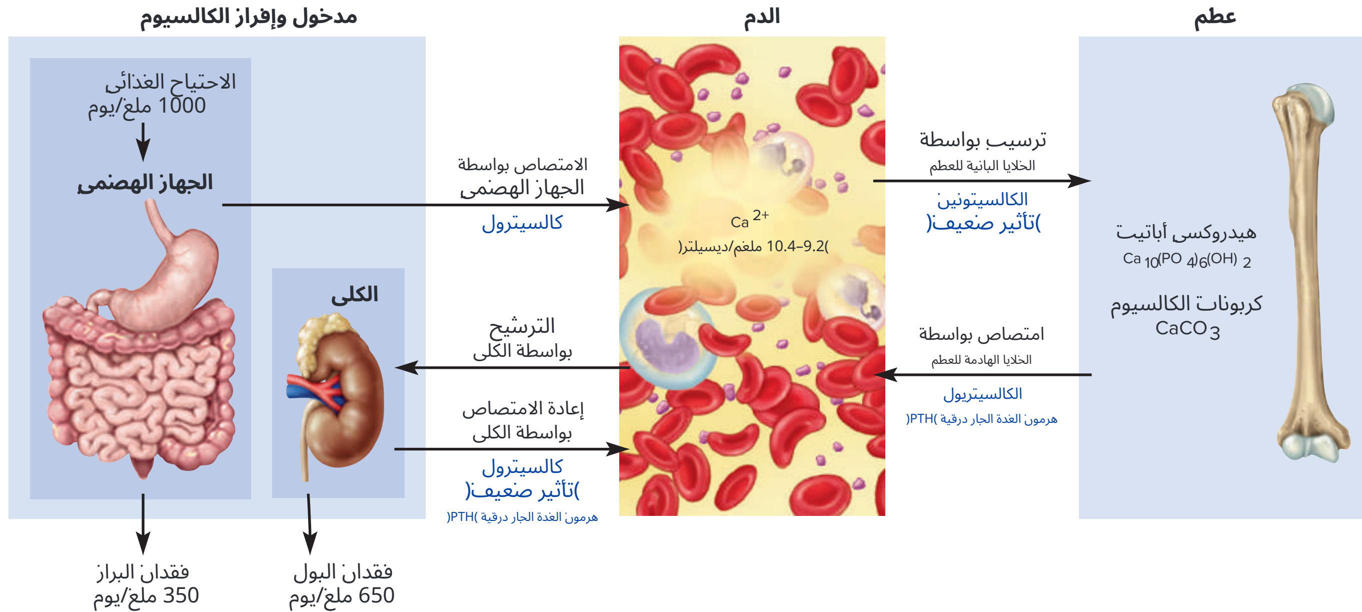
يحدث أحيانًا تكلس غير طبيعى للأنسجة، يُسمى التكلس اللاحق[25] ossification،
فى الرئتين، الدماغ، العيون، العضلات، الأوتار، الشرايين،
وأعضاء أخرى. أحد الأمثلة على ذلك هو تصلب الشرايين، أو "تصلب
الشرايين"، الناتج عن تكلس جدران الشرايين. الكتلة المتكلسة فى عضو
ناعم تُسمى **calculus.**[26]
إعادة امتصاص المعادن هى عملية إذابة العظم. تُطلق المعادن إ
لى الدم وتجعلها متاحة لاستخدامات أخرى. تتم عملية الامتصاص بوا
سطة خلايا هاضمة للعظم (أوستيوكلاست). لديها مستقبلات سطحية
للكالسيوم وتستجيب لانخفاض مستويات الكالسيوم فى سائل الأن
سجة. تقوم مضخات الهيدروجين فى الحدود المتعرجة للأوستيوكلاس
ت بإفراز أيونات الهيدروجين إلى سائل الأنسجة، وتتبعها أيونات الكلو
ريد بجذب كهرستاتيكى. وبالتالى يمتلئ الفراغ بين الأوستيوكلاست وا
لعظم بحمض الهيدروكلوريك المركز ذو الرقم الهيدروجينى حوالى 4.
يقوم الحمض بإذابة معادن العظم. كما يفرز الأوستيوكلاست إنزيمًا م
قاومًا للحمض (بروتياز) يهضم الكولاجين فى مصفوفة العظم.

عندما تُستخدم أجهزة تقويم الأسنان (التقويم) لإعادة وضع الأسنان،
تتحرك السن لأن الأوستيوكلاست يذيب العظم أمام السن
(حيث يخلق الجهاز ضغطًا أكبر للسن ضد العظم) ويُودع الأوستيو بلاست
العظم فى منطقة الضغط المنخفض خلفه.

7.4ب توازن الكالسيوم

يحتوى جسم البالغ على حوالى 1100 جرام من الكالسيوم، مع وجود 9
9% منه فى العظام. الكالسيوم ضرورى لأكثر من مجرد هيكل العظام.

[25] *إيك* = خارج؛ *توب* = مكان
[26] *كالك* = حجر؛ *أولوس* = صغير



الشكل 7.14 التحكم الهرمونى فى توازن الكالسيوم. تمثل اللوحة المركزية مخزون الدم من الكالسيوم وتُظهر نطاقه الطبيعى (الآمن). ينظم الكالسيتريول وهرمو
ن الغدة الجار درقية تبادل الكالسيوم بين الدم والأمعاء الدقيقة والكلى (يسار). ينظم الكالسيتونين، والكالسيتريول، وهرمون الغدة الجار درقية تبادل الكا
لسيوم بين الدم والعظام (يمين).



نظرة أعمق 7.3

التطبيق السريرى

الكساح ولين العظام

الكساح هو مرض يصيب الأطفال حيث تصبح العظام طرية ومشوهة نتيجة نقص فيتامين د والكالسيوم. يتميز بضعف العظام، وألم العظام، وتكرار الكسور؛ تشوه الصدر، والحوض، والعمود الفقرى؛ وساقين مقوستين)الشكل 7.15(. وهو من أكثر أمراض الطفولة شيوعًا فى البلدان النامية، لكنه عادة ما يكون قابلًا للوقاية بالتعرض لأشعة الشمس. حتى 15 دقيقة يوميًا عادةً ما تكون كافية لتكوين فيتامين د بشكل كافٍ. يمكن أيضًا الحصول على فيتامين د من الحليب ومنتجات الألبان المدعمة، والبيض، والأسماك الدهنية، وبعض أنواع الفطر.

الكساح شائع فى المناطق التى تعانى من الحروب والمجاعات. كما يتطور فى الرضع الذين يرضعون من الثدى ويُحرمون من التعرض لأشعة الشمس دون تلقى مكملات فيتامين د. فى لندن خلال أوائل القرن التاسع عشر، حدث فى ٨٠٪ إلى ٩٠٪ من الأطفال الذين كانوا محتجزين فى الداخل بسبب الدخان الكثيف فى الهواء والذين غالبًا ما كانوا يُستغلون لساعات طويلة فى العمل بالمصانع. فرضت الولايات المتحدة إضافة فيتامين د إلى الحليب فى عام ٠٣٩١ وحظرت عمل الأطفال فى عام ٧٣٩١، مما قلل بشكل كبير من الكساح ومشاكل صحية أخرى. ومع ذلك، فإن الكساح فى ازدياد مرة أخرى مع قضاء الأطفال وقتًا أطول فى الداخل وحتى بسبب الاستخدام المتزايد لواقى الشمس. أعلى معدل حدوث اليوم هو فى الشرق الأوسط، بسبب تغطية معظم أو كل الجسم لأسباب دينية أو ثقافية أخرى.

تلين العظام هو مرض مشابه لتليين العظام بسبب نقص فيتامين د لدى البالغين. وهو شائع بشكل خاص بين نزلاء دور الرعاية والمسنين المقيمين فى المنازل. غالبًا ما يبدأ بآلام فى أسفل الظهر و



الشكل 7.15 الكساح فى صبى من شرق كينيا.

جيف روتمان/صورة من آلامى ستوك

يتطور إلى آلام فى العظام والمفاصل، وضعف فى العضلات، وصعوبة فى المشى وصعود السلالم، وفقدان الطول بسبب انضغاط الفقرات، ومشية متمايلة بسبب تشوهات العمود الفقرى، وكسور عظمية مرضية.

---

3. إنه يعزز بشكل ضعيف إعادة امتصاص أيونات الكالسيوم بواسطة الكلى، لذلك يتم فقدان كمية أقل من الكالسيوم فى البول.

على الرغم من أن الكالسيترول يعزز امتصاص العظام، إلا أنه ضرورى أيضًا لترسيب العظام. بدونه، تكون مستويات الكالسيوم والفوسفات فى الدم منخفضة جدًا للترسيب الطبيعى. النتيجة هى ليونة العظام التى تُسمى الكساح عند الأطفال و تلين العظام[29] عند البالغين)انظر التعمق 7.3(.

الكالسيتونين

يتم إنتاج الكالسيتونين بواسطة *الخلايا المجاورة للجريب)الخلايا الصافية، C(* فى الغدة الدرقية)انظر الشكل 17.9(. يتم إفرازه عندما يرتفع تركيز الكالسيوم فى الدم إلى مستوى عالٍ جدًا، ويخفض التركيز من خلال آليتين رئيسيتين)الأشكال 7.14 و **7.17a**(

1. تثبيط الخلايا الهادمة للعظم. خلال 15 دقيقة بعد إفرازه، يقلل الكالسيتونين من نشاط الخلايا الهادمة للعظم بنسبة تصل إلى 70%، لذا تطلق الخلايا الهادمة للعظم كمية أقل من الكالسيوم من الهيكل العظمى.
2. تحفيز الخلايا البانية للعظم. خلال ساعة، يزيد الكالسيتونين عدد ونشاط الخلايا البانية للعظم، التى تودع الكالسيوم إلى الهيكل العظمى.

تلعب الكالسيتونين دورًا مهمًا فى الأطفال ولكن لها تأثير ضعيف فقط فى معظم البالغين. تكون الخلايا الهادمة للعظام)الأوستيوكلاستات(فى الأطفال نشطة جدًا فى إعادة تشكيل الهيكل العظمى وتفرز 5 جرامات أو أكثر من الكالسيوم فى الدم يوميًا. من خلال تثبيط هذا، يقوم الكالسيتونين

[29] *osteo*= عظم؛ *malacia* = تليين

كالسيترول

الكالسيتريول)CAL-sih-TRY-ol(هو شكل من فيتامين د يتم إنتاجه بواسطة التفاعل المتسلسل للجلد والكبد والكلى)الشكل 7.16(:

1. تستخدم الخلايا الكيراتينية فى البشرة الأشعة فوق البنفسجية من ضوء الشمس لتحويل الستيرويد، 7-ديهيدروكوليسترول، إلى- *previta* من D_3 خلال ثلاثة أيام أخرى، يقوم دفء ضوء الشمس على الجلد بتحويل هذا إلى فيتامين D_3 *)كوليكالسيفيرول(*، وتحمل بروتين ناقل هذا إلى مجرى الدم.
2. يضيف الكبد مجموعة هيدروكسيل، محولًا إياها إلى *الكالسيديول.*
3. ثم تضيف الكليتان مجموعة هيدروكسيل أخرى، محولةً الكالسيديول إلى الكالسيتريول، وهو الشكل الأكثر نشاطًا من فيتامين د.

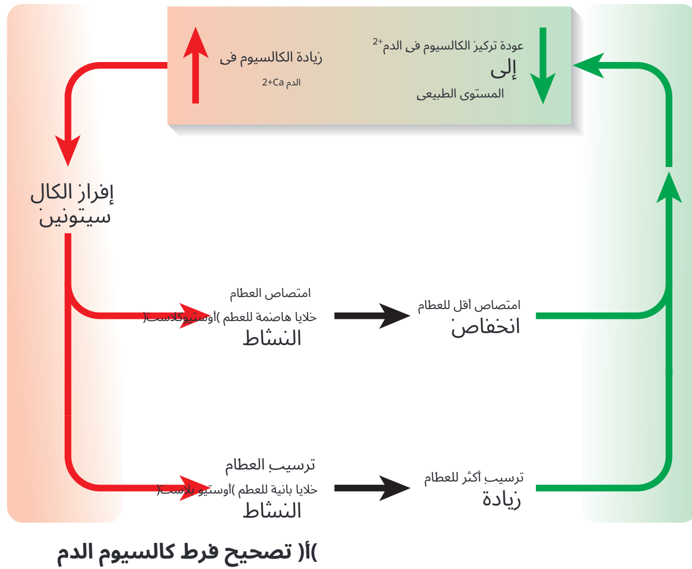
يتصرف الكالسيتريول كهرمون - وهو رسول كيميائى ينتقل عبر الدم من عضو إلى آخر. يُطلق عليه فيتامين فقط لأنه يُضاف إلى النظام الغذائى، خاصة فى الحليب المدعم، كإجراء وقائى للأشخاص الذين لا يتعرضون بما يكفى لأشعة الشمس لبدء التخليق الكافى فى الجلد.

الوظيفة الرئيسية للكالسيترول هى رفع تركيز الكالسيوم فى الدم. يتم ذلك بثلاث طرق)الشكل 7.14(، وخاصة الطريقة الأولى منها:

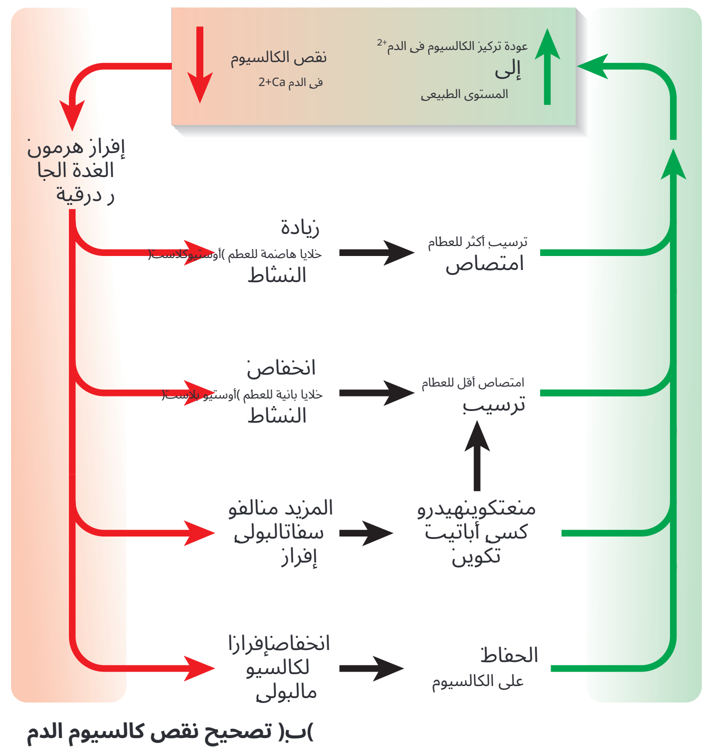
1. يزيد من امتصاص الكالسيوم بواسطة الأمعاء الدقيقة، باستخدام الآليات المفصلة فى الفصل 25.
2. يزيد من امتصاص الكالسيوم من الهيكل العظمى. يرتبط الكالسيتريول بالخلايا البانية للعظم، والتى تقوم بعد ذلك بتحفيز الخلايا الجذعية على التمايز إلى خلايا هادمة للعظم. تقوم خلايا الهدم الجديدة بتحرير أيونات الكالسيوم والفوسفات من العظم.

الشكل 7.16 تخليق وعمل الكالسيتريول (فيتامين د). انظر النص للتفسير.

7-ديهيدروكوليسترول
HO
الضوء فوق البن فسجي
فيتامين د3 (كوليكالسيفيرول)
CH_2
HO
كالسيديول
CH_2
HO
OH
كالسيتريول
OH
CH_2
HO
OH
امتصا ص العظم
انخفاض إفراز Ca^{2+}
امتصاص Ca^{2+} و الفوسفات



)أ(تصحيح فرط كالسيوم الدم



)ب(تصحيح نقص كالسيوم الدم

الشكل 7.17 دوائر التغذية الراجعة السلبية فى توازن الكالسيوم. (أ) تصحيح فرط كالسيوم الدم بواسطة الكالسيتونين.
(ب) تصحيح نقص كالسيوم الدم بواسطة هرمون الغدة الجار درقية.

7.4ح توازن الفوسفات

يحتوى البالغ المتوسط على ٠٠٥ إلى ٠٠٨ غرام من الفوسفور، منها ٥٨٪ إلى ٩٠٪ موجودة فى العظام. الفوسفات ضرورى ليس فقط لقوة العظام بل أيضًا كمكون من مكونات الحمض النووى DNA، والحمض النووى الريبوزى RNA، وATP، والفوسفوليبيدات، ومركبات أخرى. تتراوح تركيزات الفوسفور فى البلازما من ٥.٣ إلى ٠.٤ ملغ/ديسيلتر. مستوى الفوسفور ليس مضبوطًا بدقة كما هو الحال مع الكالسيوم. ولا، على ما يبدو، يحتاج إلى ذلك؛ التغيرات فى مستوى الفوسفات فى البلازما لا ترتبط بأى اضطراب وظيفى فورى. الكالسيتريول يرفع مستوى الفوسفات عن طريق تعزيز امتصاصه من النظام الغذائى عبر الأمعاء الدقيقة. وهذا منطقى، لأن أحد تأثيرات الكالسيتريول هو تعزيز ترسيب العظام، وهذا يتطلب كلًا من الكالسيوم والفوسفات. من ناحية أخرى، هرمون الغدة الجار درقية (PTH) يخفض مستوى الفوسفات فى الدم عن طريق تعزيز إفرازه فى البول.

 طبق ما تعرفه

بينما يرفع مستوى الكالسيوم فى الدم، يخفض هرمون الغدة الجار درقية مستوى الفوسفات. اشرح لماذا هذا مهم لتحقيق هدف هرمون الغدة الجار درقية.

7.4د عوامل أخرى تؤثر على العظام

تؤثر على نسيج العظم على الأقل ٢٠ هرمونًا وعوامل نمو وفيتامينات بطرق معقدة لا تزال غير مفهومة جيدًا (الجدول ١.٧). يكون نمو العظام سريعًا بشكل خاص فى فترة البلوغ

يمكن أن يخفض مستوى الكالسيوم فى الدم بشكل كبير عند الأطفال. أما عند البالغين، فإن الخلايا الهادمة للعظم (الأوستيوكلاست) تفرز فقط حوالى 0.8 جرام من الكالسيوم يوميًا. لا يمكن للكالسى تونين أن يغير مستوى الكالسيوم فى دم البالغين كثيرًا من خلال تثبيط هذا التأثير الصغير. لا يُعرف أن نقص الكالسيتونين يسبب أى مرض عند البالغين. ومع ذلك، قد يساعد الكالسيتونين فى الحفاظ على كثافة العظام لدى النساء الحوامل والمرضعات.

هرمون الغدة الجار درقية

يُفرز هرمون الغدة الجار درقية (PTH) من الغدد الجار درقية، التى تلتصق بالسطح الخلفى للغدة الدرقية. تفرز هذه الغدد هرمون PTH عندما يكون مستوى الكالسيوم فى الدم منخفضًا. انخفاض بنسبة 1% فقط فى مستوى الكالسيوم يضاعف إفراز هرمون PTH. يرفع هرمون PTH مستوى الكالسيوم بأربع آليات (الشكلان 7.14 و **7.17b**)

1. يرتبط بمستقبلات على الخلايا البانية للعظم (الأوستيو بلاست)، والتى بدورها تحفز عدد الخلايا الهادمة للعظم (الأوستيوكلاست) وتعزز امتصاص العظم.
2. يعزز إعادة امتصاص الكالسيوم فى الكلى، مما يقلل من فقدان الكالسيوم فى البول.
3. يعزز الخطوة النهائية فى تخليق الكالسيتريول فى الكلى، مما يزيد من تأثير الكالسيتريول فى رفع مستوى الكالسيوم.
4. يمنع تخليق الكولاجين بواسطة الخلايا العظمية البانية، وبالتالى يمنع ترسيب العظام.

الجدول ١.٧	العوامل المؤثرة على استقلاب الكالسيوم والعظام
الاسم	**التأثير**
الهرمونات	
الكالسيتونين	يعزز التمعدن ويخفض تركيز الكالسيوم Ca^{2+} فى الدم عند الأطفال، لكنه عادةً ما يكون له تأثير ضئيل عند البالغين؛ قد يمنع فقدان العظام عند النساء الحوامل والمرضعات
الكالسيتريول (فيتامين د)	يعزز امتصاص الأمعاء لـ Ca^{2+} والفوسفات؛ يقلل من إفرازهما فى البول؛ يعزز كل من إعادة الامتصاص والتعدين؛ يحفز نشاط الخلايا الهادمة للعظم (أوستيوكلاست)
الكورتيزول	يمنع نشاط الخلايا الهادمة للعظم، ولكن إذا تم إفرازه بكميات زائدة (مرض كوشينغ)، يمكن أن يسبب هشاشة العظام عن طريق تقليل ترسيب العظم (منع انقسام الخلايا وتخليق البروتين)، ومنع إفراز هرمون النمو، وتحفيز الخلايا الهادمة للعظم على امتصاص العظم
الإستروجين	يحرض الخلايا البانية للعظم (أوستيو بلاست) ونمو المراهقين؛ يمنع هشاشة العظام
هرمون النمو	يحرض إطالة العظم وتكاثر الغضروف فى صفيحة النمو (الصفائح المشاشية)؛ يزيد من إفراز Ca^{2+} فى البول ولكنه يزيد أيضًا من امتصاص Ca^{2+} فى الأمعاء، مما يعوض الفقد
الأنسولين	يحرض تكوين العظم؛ يحدث فقدان كبير للعظم فى داء السكرى غير المعالج
هرمون الغدة الجار درقية	ينشط بشكل غير مباشر الخلايا الهادمة للعظم (osteoclasts)، التى تعيد امتصاص العظم وترفع تركيز الكالسيوم Ca^{2+} فى الدم؛ يثبط إفراز الكالسيوم Ca^{2+} فى البول؛ يعزز تخليق الكالسيتريول
التستوستيرون	يحفز الخلايا البانية للعظم ويعزز تخليق البروتين، مما يعزز نمو المراهقين وإغلاق المشاش العظمى
هرمون الغدة الدرقية	ضرورى لنمو العظام؛ يعزز تخليق وتأثيرات هرمون النمو، لكن زيادته قد تسبب فرط كالسيوم الدم، وزيادة إفراز Ca^{2+} فى البول، وهشاشة العظام
عوامل النمو	على الأقل 12 مادة شبيهة بالهرمونات تُنتج فى العظم نفسه تحفز خلايا العظم المجاورة، وتعزز تخليق الكولاجين، وتحفز نمو المشاش، وتنتج العديد من التأثيرات الأخرى
الفيتامينات	
فيتامين أ	يعزز تخليق الجليكوزأمينوجليكان (كبريتات الكوندرويتين)
فيتامين ج (حمض الأسكوربيك)	مطلوب لتكوين الكولاجين، ونمو العظام، وإصلاح الكسور
فيتامين د	يعمل عادة كهرمون (انظر الكالسيتريول)

جراحة العظام 30فرع من فروع الطب نشأ كعلاج لتشوهات الهيكل العظمى عند الأطفال. أصبح الآن أكثر شمولاً ويتعامل مع الوقاية وتصحيح الإصابات والاضطرابات فى العظام والمفاصل والعضلات فى جميع الأعمار. يشمل تصميم المفاصل والأطراف الصناعية وعلاج الإصابات الرياضية.

7.5أ الكسور وإصلاحها

هناك طرق متعددة لتصنيف كسور العظام. الكسر الناتج عن الإجهاد هو كسر يحدث بسبب صدمة غير طبيعية للعظم، مثل الكسور التى تحدث فى حالات السقوط، والرياضة، وحوادث السيارات، والقتال العسكرى. الكسر المرضى هو كسر فى عظم ضعيف بسبب مرض آخر، مثل سرطان العظام أو هشاشة العظام، وعادة ما يحدث نتيجة لإجهاد لا يكفى عادةً لكسر العظم.

تصنف الكسور أيضًا حسب اتجاه خط الكسر، وما إذا كانت الجلد مكسورًا، وما إذا كان العظم مجرد متصدع أو مكسور إلى قطع منفصلة. على سبيل المثال، الكسر غير المزاح هو كسر تبقى فيه قطع العظم فى محاذاة تشريحية صحيحة، فى حين أن الكسر المزاح هو كسر يتم فيه تحريك قطعة واحدة على الأقل خارج المحاذاة مع الأخرى)الشكل 7.18أ، ب(. الكسر المفتت هو كسر ينكسر فيه العظم إلى ثلاث قطع أو أكثر)الشكل 7.18ح(. كسر العود الأخضر هو كسر لا ينكسر فيه العظم بالكامل من جانب واحد بل ينحنى فقط من الجانب المقابل)الشكل 7.18د(، كما ينكسر الغصن الأخضر جزئيًا وليس إلى قطع منفصلة.

يتم تدريس عدة أنواع أخرى من الكسور بشكل روتينى فى الدورات السريرية ودورات الإسعافات الأولية.

التئام الكسور

يشفى الكسر البسيط فى حوالى ٨ إلى ٢١ أسبوعًا، لكن الكسور المعقدة تستغرق وقتًا أطول، وجميع الكسور تلتئم ببطء أكبر لدى كبار السن. تحدث عملية الشفاء فى المراحل التالية

)الشكل ٧.١٩(:

1. تكوين الورم الدموى وأنسجة الحبيبات. يكسر كسر العظم الأوعية الدموية فى العظم والغشاء العظمى)السمحاق(، مما يسبب النزيف وتكوين جلطة دموية *)ورم دموى للكسر(*. تنمو الشعيرات الدموية بسرعة داخل الجلطة، بينما تغزو الألياف الليفية، والبلعميات الكبيرة، وخلايا هدم العظم)أوستيوكلاست(، والخلايا المولدة للعظم الأنسجة من جانبى السمحاق والنخاع للعظم المكسور. تصبح الخلايا المولدة للعظم وفيرة جدًا خلال ٤٨ ساعة من الإصابة. كل هذا الغزو الشعيرى والخلايا يحول الجلطة الدموية إلى كتلة ليفية ناعمة تسمى أنسجة الحبيبات.

2. تكوين الكالس الناعم.١٣ تودع الألياف الليفية الكولاجين فى أنسجة الحبيبات، بينما تتحول بعض الخلايا المولدة للعظم إلى خلايا غضروفية)كوندروبلاست(وتنتج بقعًا من الغضروف الليفى تسمى الكالس الناعم.

---

٣٠ ortho= مستقيم؛ ped= طفل، قدم
١٣ call = صلب، قوى

قة، عندما تحدث زيادات فى هرمون النمو، والإستروجين، والتستوستيرون التى تعزز التمعدن العظمى. تحفز هذه الهرمونات التكاثر السريع للخلايا المكونة للعظم، وترسيب المصفوفة بواسطة الخلايا البانية للعظم، وتكاثر وتضخم الخلايا الغضروفية فى الميتافيز. تنمو الفتيات المراهقات أسرع من الأولاد ويصلن إلى طولهن الكامل فى وقت أبكر، ليس فقط لأنهن يبدأن البلوغ فى وقت بكر ولكن أيضًا لأن للإستروجين تأثيرًا أقوى من التستوستيرون. ومع ذلك، نظرًا لأن الذكور ينمون لفترة أطول، فعادة ما يكونون أطول. فى النهاية، تستنفد الستيرويدات الجنسية الغضروف فى صفائح النمو، مما يؤدى إلى إغلاق النهايات العظمية، وينهى نمو الطول. لذلك، يمكن أن يسبب نقص أو زيادة هذه الستيرويدات تشوهات تتراوح بين قصر القامة إلى طول استثنائى. يمكن أن يؤدى استخدام الستيرويدات الابتنائية من قبل الرياضيين المراهقين إلى إغلاق مبكر وينتج عنه قصر قامة غير طبيعى فى البالغين)انظر نظرة أعمق 2.6(. يرتبط الاستهلاك المفرط للكولا)أكثر من ثلاث حصص بحجم 12 أونصة يوميًا(بفقدان كثافة العظام لدى النساء، وليس لدى الرجال.

يُعتقد أن التأثير ناتج عن حمض الفوسفوريك فى الكولا، الذى يرتبط بالكالسيوم المعوى ويتداخل مع امتصاصه. المشروبات الغازية الأخرى لا تحتوى على حمض الفوسفوريك ولا تؤثر على كثافة العظام.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

14. صف دور الكولاجين والبلورات الأولية فى تمعدن العظام.

15. لماذا من المهم تنظيم تركيز الكالسيوم فى الدم ضمن نطاق ضيق كهذا؟

16. ما تأثير الكالسيتونين على تركيز الكالسيوم فى الدم، وكيف يحقق هذا التأثير؟ أجب عن نفس الأسئلة بالنسبة لهرمون الغدة الجاردرقية.

17. كيف يتم تصنيع فيتامين د، وما تأثيره على تركيز الكالسيوم فى الدم؟

اضطرابات العظام 7.5

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. تسمية ووصف عدة أمراض عظمية؛
ب. تسمية ووصف أنواع الكسور؛
ح. شرح كيفية إصلاح الكسر؛ و
د. مناقشة بعض العلاجات السريرية للكسور واضطرابات الهيكل العظمى الأخرى.

غالبًا ما لا يفكر معظم الناس فى نظامهم الهيكلى إلا إذا تعرضوا لكسر فى العظم. يصف هذا القسم كسور العظام، وشفاءها، وعلاجها، يتبع ذلك ملخص لأمراض عظمية أخرى. تعد اضطرابات العظام من اهتمامات

3 التحول إلى الكالس الصلب. تختلف الخلايا العظمية الأخرى إلى خلايا بانية للعظم)أوستيو بلاستات(التى تُنتج طوقًا عظميًا يُس مى الكالس الصلب حول الكسر. يُثبت الكالس الصلب بالعظم ا لميت حول موقع الإصابة ويعمل كجبيرة مؤقتة لربط نهايات ا لعظم المكسور أو شظاياه معًا. يستغرق تكوين الكالس الصلب حوالى ٤ إلى ٦ أسابيع. خلال هذه الفترة، من المهم تثبيت الع طم المكسور لمنع إعادة الإصابة.

4 إعادة التشكيل. يستمر الكالس الصلب لمدة ٣ إلى ٤ أشهر. فى الوقت نفسه، يقوم ناقضات العظم)أوستيوكلاستات(بإذابة شظايا صغيرة من العظم المكسور، ويودع بانيات العظم)أوستيو بلاستات(العظم الإسفنجى لسد الفجوة بين الأطراف المكسورة. هذا العظم الإ سفنجى يمتلئ تدريجياً ليصبح عظمًا مضغوطًا، بطريقة مشابهة لل تعظم داخل الغشاء)intramembranous ossification(. عادةً ما ي ترك الكسر سماكة طفيفة فى العظم يمكن رؤيتها بالأشعة السينية؛ وقد تُستخدم هذه السماكات كدليل جنائى على إساءة معاملة الأطفال. ومع ذ لك، فى بعض الحالات، يكون الشفاء كاملاً بحيث لا يمكن العثور على أى أثر للكسر.

علاج الكسور

يتم عادةً تثبيت معظم الكسور عن طريق الإرجاع المغلق)closed re duction(، وهو إجراء يتم فيه تحريك شظايا العظم إلى مواقعها الط بيعية دون جراحة. الإرجاع المفتوح والتثبيت الداخلى)ORIF(يتضم ن تعريض العظم المكسور جراحيًا واستخدام صفائح أو مسامير أو دبا بيس لإعادة محاذاة الشظايا)الشكل 7.20(. عادةً ما يتم تثبيت كسو ر الورك بدبابيس، ويُشجع على المشى المبكر لأنه يعزز الدورة الدموية والشفاء. قد تُعالج الكسور التى تستغرق أكثر من شهرين للشفاء بالتح فيز الكهربائى، الذى يسرع الإصلاح عن طريق كبح تأثيرات هرمون الغد ة الجار درقية.

7.5ب اضطرابات العظام الأخرى

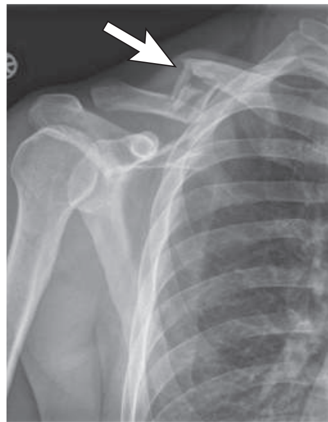
تم تلخيص عدة اضطرابات عظمية إضافية فى الجدول 7.2. مرض العظام الأكثر شيوعًا، هشاشة العظام، يحظى باهتمام خاص



)أ(غير منزاح



)ب(منزاح



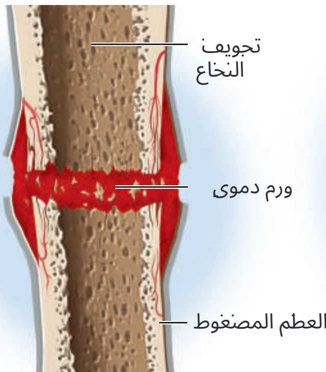
)ح(مفتت



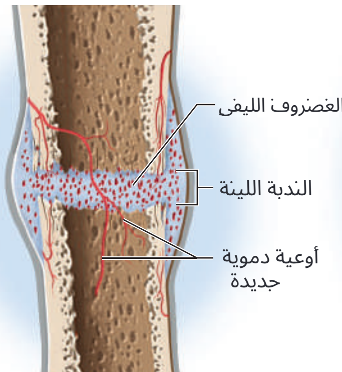
)د(كسر العصا الخضراء

الشكل ٨١.٧ أشعة إكس لأنواع الكسور التمثيلية.)أ(كسر غير منزاح فى إحدى سلاميات الإصبع الصغير.)ب(كسر منزاح فى عظم الساق)الظنبوب(وعظم الشظية.)ح(كسر م فتت فى عظم الترقوة.)د(كسر من نوع العصا الخضراء فى عظم الزن د)المنظر الأمامى والوسيط(.

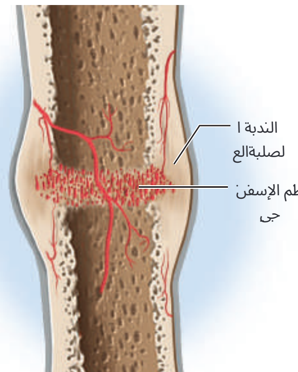
أ: تشوتشين/صور جيتى؛ ب: هوارد كينغسنوث/ذا إيماج بانك/صور جيتى؛ ح: كين سالادين/إيمورى م. سالادين؛ د: بيوفوتو أسوشيتس/ساينس سورس



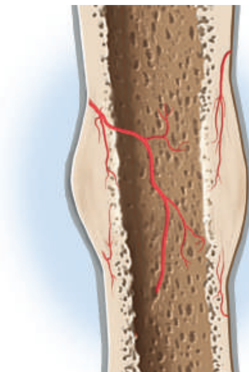
1 تكوّن الورم الدموى
يتم تحويل الورم الدموى إلى ن سيج حبيبى بواسطة غزو الخلايا وال شعيرات الدموية.



2 تكوّن الكالوس اللين
ترسيب الكولاجين والغضروف الليفى يحول النسيج الحبيبى إلى كالو س لين.



3 تكوّن الكالوس الصلب
تقوم الخلايا البانية للعظم)أوستيو بلا ست(بترسيب طوق عظمى مؤقت حو ل الكسر لتوحيد القطع المكسورة أ ثناء حدوث التكلس.



4 إعادة تشكيل العظم
تُزال شظايا العظم الصغيرة بواسط ة الخلايا الهادمة للعظم)أوستيوكلاست(، بينما تقوم الخلايا البانية للعظم بتر سيب العظم الإسفنجى ثم تحويله إل ى عظم مضغوط.

الشكل 7.19 شفاء كسر العظم.

النظر فى الفهم الأعمق ٤.٧. تم وصف تأثيرات الشيخوخة على الجهاز الهيكلى فى الفصل ٩٢.

ل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

18. سمِّ ووصِف أربعة أنواع من كسور العظام.
19. لماذا من المرجح أن يحدث التهاب العظم والنقى فى كسر مفتوح أكثر من كسر مغلق؟
20. ما هو الكالوس؟ كيف يساهم فى إصلاح الكسر ؟



الشكل ٧.٢٠ الاختزال المفتوح والتثبيت الداخلى)ORIF(لكسر مركب فى هضبة الظنبوب.

كينيث س. سالادين

الجدول 7.2	أمراض العظام
التهاب العظم المشوه)مرض باجيت[32](	تكاثر مفرط لخلايا هدم العظم)الأوستيوكلاستات(وامتصاص العظم الزائد، مع محاولة خلايا بناء العظم)الأوستيو بلاستات(التعويض عن طريق ترسيب عظم إضافى. يؤدى هذا إلى إعادة تشكيل العظم بسرعة وبشكل غير منتظم، مما ينتج عنه عظام ضعيفة ومشوهة. عادةً ما يمر التهاب العظم المشوه)التهاب العظم المشوه(دون أن يلاحظه أحد، لكنه فى بعض الحالات يسبب الألم والتشوه والكسور. وهو أكثر شيوعًا بين الذكور الذين تزيد أعمارهم عن 50 عامًا.
التهاب العظم والنقى[33]	التهاب نسيج العظم ونخاع العظم نتيجة عدوى بكتيرية. كان هذا المرض غالبًا ما يكون مميتًا قبل اكتشاف المضادات الحيوية و لا يزال من الصعب جدًا علاجه.
مرض هشاشة العظام الخلقى)مرض العظم الهش(	عيب فى ترسيب الكولاجين يجعل العظام هشة بشكل استثنائى، مما يؤدى إلى حدوث كسور موجودة عند الولادة أو تحدث بتكرار غير عادى خلال الطفولة؛ كما يسبب تشوهات فى الأسنان وفقدان السمع بسبب تشوه عظام الأذن الوسطى. ينتج عن طفرة فى أى من عدة جينات للكولاجين.
سرطان العظم[34])الساركوما العظمية(	أكثر أنواع سرطان العظام شيوعًا وفتكًا. يحدث غالبًا فى عظم الساق)الظنبوب(، وعظم الفخذ، وعظم العضد لدى الذكور الذين تتراوح أعمارهم بين 10 و25 عامًا. فى 10% من الحالات، ينتشر إلى الرئتين أو أعضاء أخرى؛ وإذا لم يُعالج، يؤدى عادةً إلى الوفاة خلال عام واحد .

يمكنك العثور على اضطرابات أخرى فى الجهاز الهيكلى موصوفة فى الأماكن التالية:

قزامة أخندروبلستية فى التعمق 7.2؛ التكلس خارج الموضع فى القسم 7.4؛ الكساح و تلين العظام فى التعمق 7.3؛ كسور العظام)بشكل عام(فى القسم 7.5أ؛ هشاشة العظام فى التعمق 7.4؛ التهاب الخشاء فى القسم 8.2أ؛ الانزلاق الغضروفى فى التعمق 8.3؛ الانحناءات الشاذة للعمود الفقرى فى التعمق 8.3؛ كسر الترقوة فى القسم 8.4أ؛ تقوس القدم فى القسم 8.5ب؛ التهاب المفاصل فى التعمق 9.5؛ وشق الحنك فى التعمق 29.4.

[23] السير جيمس باجيت)١٨١٤-١٨٩٩(، جراح إنجليزى
[33] *osteo*= عظم؛ *myel*= نخاع؛ *itis* = التهاب
[34] *osteo*= عظم؛ *sarc* = لحم؛ *oma*= ورم



نظرة أعمق 7.4

التطبيق السريري

نقص العظم وهشاشة العظام

فقدان كثافة العظام هو أحد أكثر المخاوف شيوعًا مع التقدم في العمر. تعيش الخلايا العظمية لعقود، لكنها في النهاية تموت وتترك فجوات فارغة (lacunae). لهذا السبب وأسباب أخرى، بدءًا من عمر الأربعين تقريبًا، يفقد الكثير منا العظم عن طريق الامتصاص أسرع مما يمكن استبداله. في البداية، لا يسبب هذا أي أعراض ملحوظة، لكنه قد يتطور إلى انخفاض قابل للقياس في كثافة العظام يُسمى نقص العظم.[35] يتأثر العظم الإسفنجي أكثر، لأنه يمتلك أكبر مساحة سطح معرضة لخلايا هدم العظم (osteoclasts) (الشكل ١٢.٧أ). يزداد خطر الكسور مع انخفاض الكثافة.

إلى حد ما، يرتبط هذا بعوامل خطر لا يمكننا التحكم بها—الجنس (تتأثر النساء أكثر من الرجال)، بنية الجسم (تؤثر على الأشخاص ذوي الأجسام الصغيرة والخفيفة أكثر من الأشخاص الأثقل وزنًا)، الأصل العرقي (النساء من أصول آسيوية وأوروبية بيضاء معرضات بشكل خاص؛ والنساء السود من أصول أفريقية أقل عرضة)، وبالطبع، العمر نفسه. هناك عوامل خطر أخرى يمكننا التحكم بها—نمط الحياة الخامل، نقص التمارين التي تحمل الوزن (حتى المشي)، العادات الغذائية (تناول غير كافٍ للكالسيوم، فيتامين د، والبروتين)، التدخين، والاستهلاك المفرط للكحول.

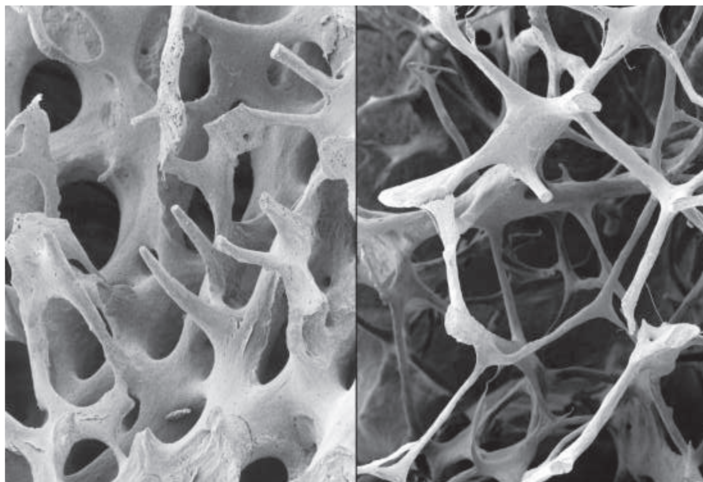
بالنسبة للكثيرين، تتقدم حالة نقص كثافة العظام (أو هشاشة العظام الخفيفة) به دوء إلى الحالة الأكثر خطورة، هشاشة العظام.[36] تصبح العظام حينها متآكلة إلى درجة يمكن أن يتعرض فيها الشخص لكسور نتيجة ضغوط بسيطة مثل الجلوس بسرعة، وبالطبع من السقوط أو الضربات التي لا تؤثر على هيكل عظمي أكثر صحة. تعد كسور الورك والمعصم والعمود الفقري شائعة بشكل خاص. بين كبار السن، يمكن أن تفرض كسور الورك التي تلتئم ببطء عدم حركة لفترة طويلة وتؤدي إلى مضاعفات تهدد الحياة مثل الالتهاب الرئوي. غالبًا ما يواجه الناجون فترة تعافي طويلة ومكلفة. تسبب هشاشة العظام عادة تشوهات في العمود الفقري لأن وزن الجزء العلوي من الجسم يضغط على الفقرات ويتسبب في انهيارها (الشكل 7.21ب). يتطور العمود الفقري إلى انحناء صدري مفرط يسمى فرط الحداب، مما يعيق حركة الشخص واستقلاليته (الشكل 7.21ح).

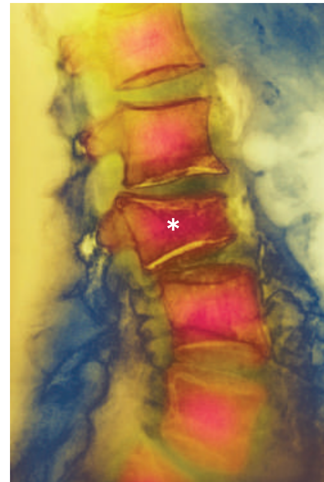
يعاني حوالي 30% من النساء في الولايات المتحدة من كسور بسبب هشاشة العظام في مرحلة ما من حياتهن. مقارنة بالرجال، تمتلك النساء في المتوسط كتلة عظمية أولية أقل ويبدأن بفقدانها في سن مبكرة. نظرًا لأن الإستروجين يدعم ترسيب العظام، يرتفع خطر هشاشة العظام بشكل حاد بعد انقطاع الطمث، عندما تتوقف المبايض عن إنتاجه. بحلول سن 70، تكون المرأة البيضاء أو الآسيوية قد فقدت في المتوسط 30% من كتلة عظامها، وبعضهن يصل فقدانهن إلى 50%. ومع ذلك، فإن نقص كثافة العظام وهشاشة العظام شائعان بشكل مدهش بين العدّاءات والراقصات والجمبازيات الشابات على الرغم من تمارينهن المكثفة. بعضهن يمتلكن نسبة منخفضة جدًا من الدهون في الجسم مما يؤدي إلى توقف الإباضة، وبدون تطور الجريبات، تفرز المبايض مستويات منخفضة من الإستروجين. حوالي 20% من المصابين بهشاشة العظام هم رجال. فقدان كثافة العظام (إلى جانب كتلة العضلات) يمثل مشكلة صحية كبيرة حتى لرواد الفضاء في المهمات الفضائية الطويلة، حيث تتعرض عظامهم لقليل من الضغط الذي يحافظ عادة على كتلة العظام والعضلات. لهذا السبب، تُعد معدات التمارين جزءًا أساسيًا في محطات الفضاء.

المعيار الذهبي لتقييم كثافة العظام هو قياس كثافة العظام، أو فحص DEXA (تصوير امتصاص الأشعة السينية ثنائي الطاقة). هذه تقنية حساسة جدًا تفحص العمود الفقري والوركين بأشعة سينية منخفضة الجرعة. مكّن فحص DEXA من التشخيص المبكر والعلاج الأكثر فعالية لهشاشة العظام. ومع ذلك، فإن شدة هشاشة العظام لا تعتمد فقط على كثافة العظام، بل أيضًا على درجة الترابط بين العظام الإسفنجية (التربيقولا)، التي تفقد مع تدهور التربيقولا. لا توجد حتى الآن طريقة تشخيصية يمكنها الكشف أو تقييم هذا.

تدور استراتيجيات علاج هشاشة العظام حول الأدوية التي تحفز ترسيب العظام أو تبطئ معدل الامتصاص. هذا مجال مكثف من البحث الدوائي وتُطرح أدوية جديدة في السوق بشكل متكرر. كما هو الحال مع العديد من الاضطرابات الأخرى، الوقاية أفضل بكثير من العلاج. تبدأ الوقاية بشكل أفضل في سنوات الشباب التي تتشكل فيها العظام من سن المراهقة حتى الثلاثينيات، لكنها تستمر حتى في الشيخوخة. تشمل الوقاية ممارسة التمارين التي تحمل الوزن وتجنب عوامل الخطر الاختيارية المذكورة سابقًا. بالنسبة لكبار السن، يمكن أن تكون تمارين مثل الرقص، صعود السلالم، المشي، والجري طرقًا فعالة وممتعة لتقليل خطر أو شدة هشاشة العظام.

[35] *osteo* = عظم؛ *penia* = نقص، قلة
[36] *عظم* = عظم؛ *مسام* = ثقوب، مسام؛ *حالة* = حالة


(أ)



(ب)


(ح)

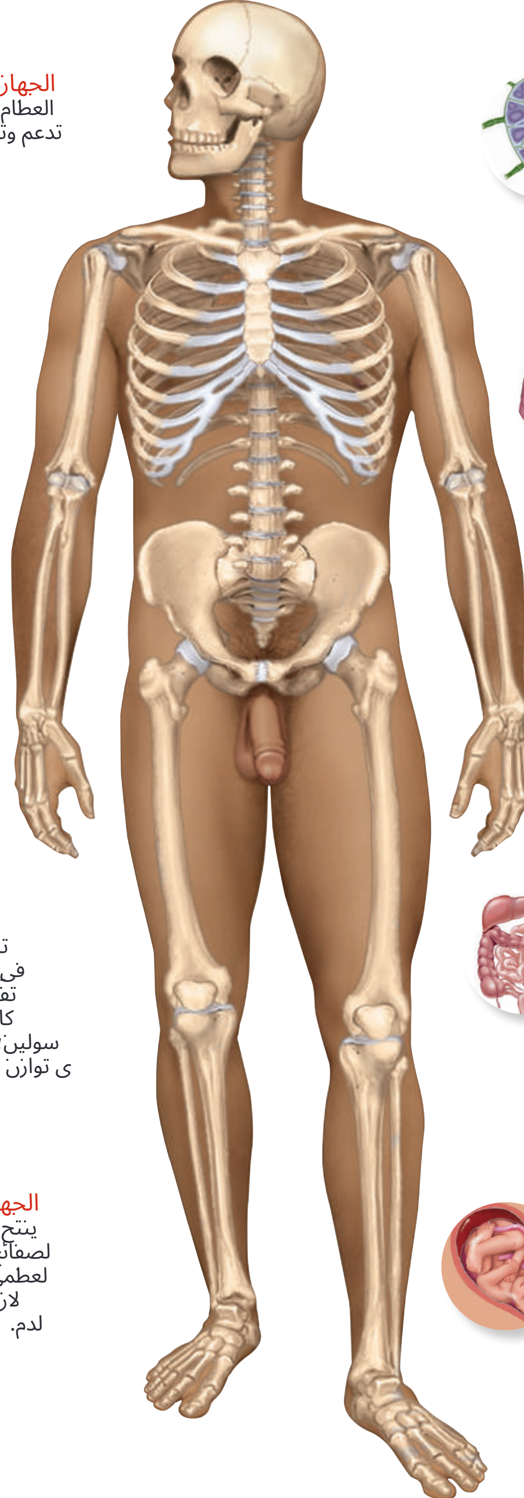
الشكل 7.21 هشاشة العظام في العمود الفقري. (أ) العظم الإسفنجي في جسم فقرة في حالة صحية جيدة (يسار) ومع هشاشة العظام (يمين). (ب) صورة أشعة سينية لفقرات القطنية متضررة بشدة بسبب هشاشة العظام. لاحظ بشكل خاص الفقرة المضغوطة بشدة والمميزة بالنجمة. (ح) امرأة تعاني من فرط الحداب الشديد بسبب ضغط فقرات الصدر.

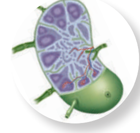
أ: ديفيد غريغوري وديبي مارشال/صور ويلكوم/مصدر العلوم؛ ب: د. ب. مارازي/مصدر العلوم؛ ح: فاني/صورة ألامي

اتصالات النظام

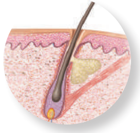


تأثيرات الجهاز الهيكلى
على أجهزة الجسم الأخرى





الجهاز اللمفاوى والمناعى
تقوم خلايا الدم البيضاء المنتجة ف
ى نخاع العظم بأداء وظائف الجهاز ا
لمناعى فى الجسم.



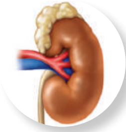
الجهاز الجلدى
العظام القريبة من سطح الجسم
تدعم وتشكل الجلد.



الجهاز التنفسى
يتم تحقيق تهوية الرئتين
من خلال حركات الجهاز العضلى الهيكلى
لقفص الصدر؛
يقوم قفص الصدر بحماية
الرئتين الحساسة من
الإصابات؛ تدعم العظام
وتشكل تجويف الأنف.



الجهاز العضلى
العظام هى مواقع ارتكاز معظ
م عضلات الهيكل العظم
ى وتوفر رافعة لحركة ال
عضلات؛ يتم تحقيق التوازن ال
كالسيومى، المهم لانق
باض العضلات، جزئياً م
ن خلال التوازن بين ترسى
ب العظام وإعادة الامتصا
ص.



الجهاز البولى
يحمى قفص الصدر جزئياً الكل
يتين، ويحمى الحزام الحوضى
المسالك البولية السفلية.



الجهاز العصبى
يحمى الجمجمة والعمود الفقرى الدماغ
والحبل الشوكى؛ ويوفر النسيج العظم
ى التوازن الكالسيومى اللازم لو
ظيفة الأعصاب.



الجهاز الهضمى
يتفاعل النسيج العظمى مع الجهاز اله
ضمى فى الحفاظ على توازن الكال
سيوم؛ تحمى القفص الصدرى وحزام ا
لحوض أجزاء من الجهاز الهضمى؛
الحركات العضلية الهيكلية ضرورية
للمضغ.



الجهاز الصماء
تحمى العظام الغدد الصماء
فى الرأس والصدر والحوض؛
تفرز العظام هرمون الأوستيو
كالسين، الذى يعزز عمل الأن
سولين؛ يعتمد إفراز الهرمونات عل
ى توازن الكالسيوم.



الجهاز التناسلى
يحمى حزام الحوض الأعضاء التنا
سلية الداخلية؛ الولادة متكيفة مع
تشريح حزام الحوض الأنثوى؛
تربط الأربطة القضيب والبظر والرحم والم
بايض بحزام الحوض.



الجهاز الدورى
ينتج نخاع العظم خلايا الدم وا
لصفائح الدموية؛ يوفر النسيج ا
لعظمى التوازن الكالسيومى ال
لازم لوظيفة القلب وتجلط ا
لدم.

دليل الدراسة

قيّم نتائج تعلمك

لاختبار معرفتك، ناقش المواضيع التالية مع شريك دراسة أو كتابة، ويفضل من الذاكرة.

7.1 أنسجة وأعضاء الجهاز الهيكلى

1. فرع الطب وعلم الأحياء الذى يتعامل مع ا لهيكل العظمى ونسيج العظام
2. الأعضاء والأنسجة التى تشكل الجهاز ا لهيكلى
3. وظائف الجهاز الهيكلى
4. أى فئة من الأنسجة الأولية تشمل العظم، وكيف يختلف العظم عن الأنسجة الأخر ى فى تلك الفئة
5. العلاقة بين العظم المصغوط، العظم الإسفن جى، وتجويف النخاع فى تشريح العظم الطويل
6. الميزات التشريحية الأخرى للعظم الطويل بما فى ذ لك الجذع)الديّافيز(، الطرف)الإبيفيس(، صفيحة النمو)اللوح الإبيفيزى(، الغضروف المفصلى، السمحاق، و النخاع العظمى
7. تركيب العظم المسطح النموذجى

7.2 علم الأنسجة للنسيج العظمى

1. الأنواع الأربعة للخلايا فى نسيج العظام؛ و ظائفها، أصولها، ومواقعها فى النسيج
2. المكونات العضوية وغير العضوية لمصفو فة العظم؛ مساهماتها فى قوة العظم؛ وأهمية ا لترتيب الحلزونى لألياف الكولاجين فى العظم
3. تركيب الأوستيون وعلاقة العظم الأوستيونى بالصفائح البينية والصفائح المحيطية
4. الطريق الذى تخترقه الأعصاب والأوعية الدموية فى جميع أنحاء العظم
5. مقارنات بين علم الأنسجة للعظم الإسفنج ى والعظم المضغوط؛ وأماكن وجود العظ م الإسفنجى؛ ولماذا لا تتكون العظام فقط م ن العظم المضغوط
6. موقع ووظائف نخاع العظم؛ وتركيب وتوزيع نو عى النخاع فى الطفولة مقابل البلوغ

7.3 تطور العظم

1. مراحل التنسج العظمى داخل الغشاء؛ وبع ض العظام التى تتكون بهذه الطريقة؛ ومدى تقدم هذه العملية عند الولادة
2. نفس النقاط المتعلقة بالتنسج العظمى الغ ضروفى
3. علم الأنسجة، تحولات الخلايا، ومناطق الأن سجة فى المشاشة؛ أى المناطق والعمليات مسؤولة عن نمو الطفل أو المراهق فى الط ول
4. كيف تؤدى الضغوط على العظام إلى إع ادة تشكيلها طوال الحياة؛ الفرق بين النمو بين الخلوى والنمو العرضى

7.4 فسيولوجيا نسيج العظم

1. الغرض وعملية تمعدن نسيج العظم، وهوية ا لخلايا التى تقوم بها
2. الغرض وعملية امتصاص العظم، وهوية الخلايا والإفرازات الخلوية التى تقوم بها
3. وظائف الكالسيوم فى الجسم؛ النطاق الطبي عى لتركيز الكالسيوم فى الدم؛ وأسباب وعواقب نقص كالسيوم الدم وفرط كالسيوم الدم
4. دور الهيكل العظمى كمخزون للكالسيوم فى تنظيم مستويات الكالسيوم فى الدم
5. كيفية تخليق الكالسيتريول والآليات التى يدعم بها أو يرفع مستوى الكالسيوم فى الدم
6. مصدر الكالسيتونين وكيف يصحح فرط كالس يوم الدم
7. مصدر هرمون الغدة الجار درقية والآليات المتعددة التى يصحح بها نقص كالسيوم الد م
8. شكلان لأيونات الفوسفات فى الدم؛ وظائف الفوسفات فى الجسم؛ وكيف يؤثر الكالسيتر يول وهرمون الغدة الجار درقية على مستو يات الفوسفات فى الدم
9. تأثير الفيتامينات الغذائية A و C و D على أى ض العظام
10. تأثير الكورتيزول، الإستروجين، التستوستير ون، هرمون النمو، الإنسولين، وهرمون الغدة الدرقية على أيض العظام

7.5 اضطرابات العظام

1. الفرق بين كسر الإجهاد و الكسر المرضى؛ مراحل شفاء العظم المكسور؛ والأساليب العلاجية السريرية للكسور
2. أسباب هشاشة العظام؛ عوامل الخطر، التأثيرات المرضية، التشخيص، العلاج، والوقاية

الإجابات فى الملحق أ

اختبار استذكارك

1. أى الخلايا لها حدود متعرجة وتفرز حم ض الهيدروكلوريك؟
   أ. خلايا C
   ب. خلايا العظم
   ح. الخلايا المولدة للعظم
   د. الخلايا البانية للعظم
   هـ. الخلايا الهادمة للعظم
2. قد يحتوى تجويف النخاع فى عظم بالغ على
   أ. النسيج النخاعى.
   ب. الغضروف الزجاجى.
   ح. الغشاء العظمى)النسيج المحيط بالعظم(.
   د. خلايا العظم.
   هـ. الغضاريف المفصلية.
3. ينتج اندفاع النمو فى فترة البلوغ عن تكاثر الخلايا وتضخمها فى
   أ. النهاية العظمية)الإيبيفيسيس(.
   ب. خط النهاية العظمية)خط الإيبيفيسيس(.
   ح. العظم المضغوط.
   د. لوح النهاية العظمية)لوح الإيبيفيسيس(.
   هـ. العظم الإسفنجى.
4. الخلايا الهادمة للعظم مرتبطة ارتباطًا وثيقًا، من ح يث الأصل المشترك، بـ
   أ. خلايا المنشأ العظمى.
   ب. الخلايا المكونة للعظم.
   ح. خلايا الدم.
   د. الخلايا الليفية.
   هـ. الخلايا البانية للعظم.
5. الجدران بين فجوات الغضروف تتحلل فى م نطقة
   أ. تكاثر الخلايا.
   ب. التكلس.
   ح. الغضروف الاحتياطى.
   د. ترسيب العظام.
   هـ. تضخم الخلايا.
6. أى من هذه *ليس* تأثيرًا لهرمون الغدة الجار درقية)PTH(؟
   أ. ارتفاع مستوى الفوسفات فى الدم
   ب. تقليل إفراز الكالسيوم
   ح. زيادة امتصاص الكالسيوم الم عوى
   د. زيادة عدد الخلايا الهادمة للعظم)الأوستيوكلاستات(
   هـ. زيادة تخليق الكالسيتريول

دليل الدراسة

14. تتشكل بلورات بذور هيدروكسى أباتيت فق ط عندما تتجاوز مستويات الكالسيوم والفوس فات فى سائل النسيج ______.

15. نقص الكالسيوم المسمى ______ يمكن أن يسبب الوفاة بسبب الاختناق.

16. هى خلايا تفرز الكولاجين وتحفز تر سيب فوسفات الكالسيوم. ______

17. الشكل الأكثر نشاطًا من فيتامين د، الذى يُنتج بشكل رئيس بواسطة الكلى، هو ______.

18. أكثر أمراض العظام شيوعًا هو ______.

19. المنطقة الانتقالية بين غضروف المشاشة وح جرة النخاع الأساسية فى العظم الشاب تُسمى ______.

20. قد تعانى المرأة الحامل ذات التغذية السيئة من تلين العظام الذى يُسمى ______.

ج. هيدروكسيباتيت.
د. الإستروجين.
هـ. هرمون الغدة جار درقية (PTH).

10. أحد علامات هشاشة العظام هو
أ. سرطان العظام (وستيوساركوما).
ب. تلين العظام (وستومالايسيا).
ج. التهاب العظم والنقى (وستوميليتيس).
د. كسر عفوى فى المعصم.
هـ. نقص كالسيوم الدم.

11. يتبلور فوسفات الكالسيوم فى العظم كمعدن يُسمى ______.

12. تتواصل الخلايا العظمية مع بعضها البعض من خ لال قنوات تُسمى ______ فى مصفوفة العظم.

13. يزداد قطر العظم فقط عن طريق النمو، أى إضافة طبقات جديدة على السطح ______.

7. يقفز طفل إلى الأرض من أعلى "جهاز تسلق" فى ملعب. عظام ساقه لا تتحطم بشكل رئى سى لأنها تحتوى على
أ. وفرة من الجليكوزأمينوجليكانات.
ب. خلايا عظمية شابة ومرنة.
ج. وفرة من فوسفات الكالسيوم.
د. ألياف الكولاجين.
هـ. بلورات هيدروكسيباتيت.

8. يلتقى عظم طويل بعظم آخر عند
أ. الجسم (الدايافيزيس).
ب. لوح المشاشة (لوح النمو).
ج. الغشاء العظمى (النسيج المحيط بالعظم).
د. المنطقة بين المشاشة والجسم (الميتافيزيس).
هـ. النهاية العظمية (الإيبيفيسيس).

9. الكالسيتريول يُصنع من
أ. الكالسيتونين.
ب. 7-ديهيدروكوليسترول.

بناء مفرداتك الطبية

الإجابات فى الملحق أ

اذكر معنى كل عنصر من عناصر الكلمة، وقدم مصطلحًا طبيًا من هذا الفصل يستخدمه أو تغييرًا طفيفًا له.

1. calc-
2. -clast
3. -malacia
4. myelo-
5. ortho-
6. osse-
7. أوستيو-
8. فيسيس-
9. سبك-
10. توبو-

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

الإجابات فى الملحق أ

اشرح بإيجاز لماذا كل من العبارات التالية خاطئة، أ و أعد صياغتها لتصبح صحيحة.

1. العظام القحفية المسطحة تتكون من عظ م مضغوط فقط، دون وجود عظم إسفنجى.
2. فى التنسج العظمى الغضروفى، يتكون نسيج العظم عن طريق تكلس الغضروف الموجود مسبقًا.
3. الكسور هى أكثر اضطرابات العظام شيوعًا.
4. منطقة النمو فى العظام الطويلة للمراهقين ه ى الغضروف المفصلى.
5. تتطور الخلايا الهادمة للعظم (وستيوكلاستات) من الخلايا البانية للعظم (أوستيو بلاستات).
6. الخلايا البانية للعظم هى خلايا جذعية متعددة القدرات.
7. البروتين فى مصفوفة العظم يسمى هيدروكسى أباتيت.
8. تُغذى الخلايا العظمية بواسطة الشعيرات الدموية فى القنوات ا لدقيقة (القنوات العظمية) داخل الأوستيونات.
9. فيتامين د يعزز ترسيب العظام، وليس امتصاصها.
10. هرمون الغدة الجار درقية يحفز ترسيب العظام بواسط ة الخلايا البانية للعظم.

اختبار فهمك

1. معظم خلايا العظم (osteocytes) فى وحدة الع ظم (osteon) تكون بعيدة جدًا عن الأوعية الدموية، لكنها لا تزال تتلقى المغذيات المحمولة بالدم. اشرح كيف يكون ذلك ممكنًا.
2. تشارلى، مدير أعمال يبلغ من العمر ٥٠ عامًا، يقرر ممارسة المزيد من التمارين ويبدأ فى المشى لمسافات طويلة. خلال عامين، أصبح تشارلى يقضى عديد من عطلات نهاية الأسبوع فى التنزه مع حقيبة ظهر ثقيلة-
التخييم والتجهيز فى الجبال. اشرح ما التغيرات التى يمكن التنبؤ بها فى تشريح تشارلى وفقًا لقانون وولف للعظم.
3. كيف يُمثّل تنظيم تركيز الكالسيوم فى الدم التغذية الراجعة السلبية والتوازن الداخلى؟
4. صف كيف يوضح ترتيب العظام الإسفنجية (ا لتربيقولا) وحدة الشكل والوظيفة.
5. حدد مرضين عظميين تتوقع رؤيتهما إذا كانت البشرة حاجزًا فعالًا تمامًا ضد الأشعة فوق البنفسجية ولم يتناول الشخص أى مكملا ت غذائية لتعويض ذلك. اشرح إجابتك.

الفصل

8

الجهاز الهيكلى



أشعة سينية للعمود الفقرى العنقى لأنثى تبلغ من العمر 20 عامًا

مكتبة صور العلوم - زيفير/غيتى إيماجز

رؤى أعمق

8.1تطبيق السريرى: تقييم الجمجمة لحديثى الولادة

8.2لتطبيق السريرى: الانحناءات الشوكية الشاذة

8.3لتطبيق السريرى: القرص المنفتق

8.4لطب التطورى: التكيفات الهيكلية للمشى على قدمين

مخطط الفصل



الوحدة 5: الجهاز الهيكلى

اندماج عدة عظام، يكتمل فى أواخر فترة المراهقة وحتى منتصف العشر ينات، يؤدى إلى العدد المتوسط للعظام فى البالغين وهو 206. هذه الع ظام مدرجة فى الجدول 8.1.

يختلف هذا العدد حتى بين البالغين. أحد الأسباب هو تطور العظ ام السمسمية[1] — وهى عظام تتكون داخل

[1] سيسام = بذرة السمسم؛ oid= يشبه

عظام الجهاز الهيكلى للبالغ	الجدول 8.1
الهيكل العظمى المحورى	
الجمجمة)22 عظمة(	
	عظام الجمجمة
العظام الصدغية)2(	العظمة الجبهية)1(
العظمة الوتدية)1(	العظام الجداريّة)2(
العظمة الغربالية)1(	العظمة القذالية)1(
	عظام الوجه
العظمان الأنفيّان)2(	العظمتان الفكيّتان العلويتان)2(
العظم الوتدى)1(	عظام الحنك)2(
الأهداب الأنفية السفلية)2(	عظام الوجنة)2(
الفك السفلى)1(	عظام الدمع)2(
عظام السمع)6 عظام(	
الركاب)2(	المطرقة)2(
	السندان)2(
العظم اللامى)1 عظم(	
العمود الفقرى)26 عظمة(	
العجز)1(	الفقرات العنقية)7(
العصعص)1(	الفقرات الصدرية)12(
	الفقرات القطنية)5(
القفص الصدرى)25 عظمة بالإضافة إلى الفقرات الصدرية(	
	الأضلاع)24(
	القص)1(
الهيكل الطرفى	
	حزام الكتف)4 عظام(
عظام الترقوة)2(	الكتفان)2(
الأطراف العلوية)60 عظمة(	
عظام الرسغ)16(	عظم العضد)2(
عظام مشط اليد)10(	عظم الكعبرة)2(
السلاميات)28(	عظم الزند)2(
	حزام الحوض)2 عظمة(
	عظام الورك)2(
	الأطراف السفلية)60 عظمة(
عظام الرسغ)14(	عظام الفخذ)2(
عظام مشط القدم)10(	الرضفتان)2(
السلاميات)28(	عظمتا الساق)2(
	عظمتا الشظية)2(
المجموع الكلى: 206 عظام	

التنقيح

- تعتمد الأوصاف التشريحية للجهاز الهيكلى بشكل كبير على المصطلحات الاتجاهية المقدمة فى الأطلس أ، الجدول أ.1.
- يعتمد فهم تشريح الهيكل العظمى أيضًا على معرفة مصطلحات مناطق الجسم والتجاويف الموضحة فى الأطلس أ.

ستكون معرفة تشريح الهيكل العظمى مفيدة أثناء دراستك الفصول اللاحقة. فهى توفر نقطة مرجعية لتعلم التشريح الكلى لأنظمة الأعضاء الأخرى لأن العديد من الأعضاء تُسمى بناءً على علاقاتها بالعظام المجاورة. على سبيل المثال، تقع الشريان والوريد تحت الترقوة بجانب عظم الترقوة؛ يرتبط عضلة الصدغ بعظم الصدغ؛ يسير العصب الزندى والشريان الكعبرى بجانب عظم الزند والكعبرة فى الساعد؛ وتُسمى فصوص الدماغ الجبهية، ا لجداريّة، الصدغية، والقذالية على اسم العظام المجاورة للجمجمة. يعتمد فه م كيفية إنتاج العضلات لحركات الجسم أيضًا على معرفة تشريح الهيكل الع ظمى.

بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تكون مواقع وأشكال ونتوءات العظام علامات مرجعية للأطباء لتحديد مكان إعطاء الحقن أو تسجيل النبض، وما يجب ال بحث عنه فى الأشعة السينية، وكيفية إجراء العلاج الطبيعى والإجراءات ال سريرية الأخرى.

8.1 نظرة عامة على الهيكل العظمى

نتائج التعلم المتوقعة

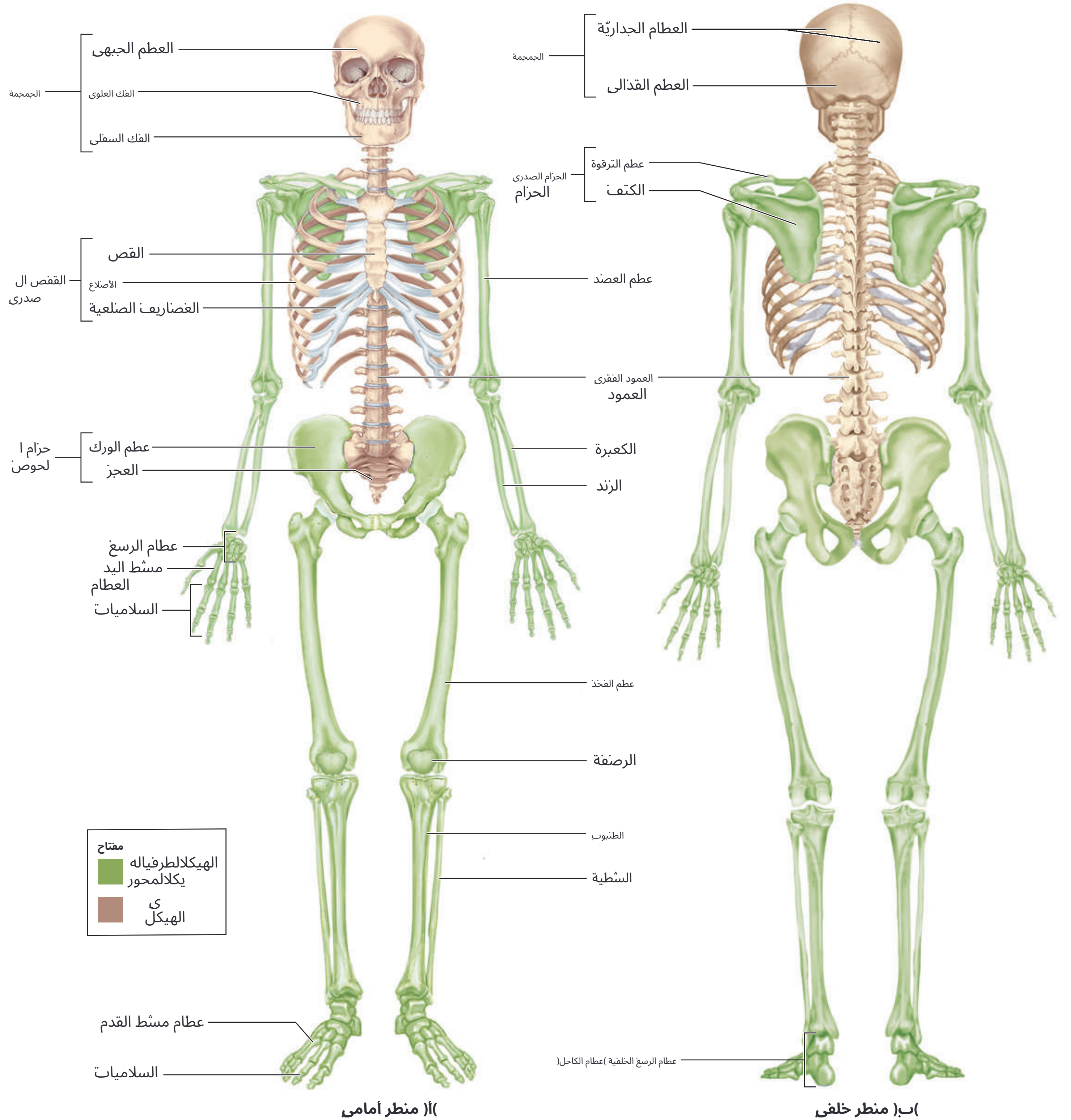
عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. تعريف التقسيمين الفرعيين للهيكل العظمى؛
ب. ذكر العدد التقريبى للعظام فى جسم البالغ؛
ج. شرح سبب اختلاف عدد العظام فى الهيكل العظمى مع العمر ومن شخص لآخر؛ و
د. تعريف عدة مصطلحات تدل على ميزات سطحية للعظام.

ينقسم الهيكل العظمى)الشكل 8.1(إلى منطقتين: الهيكل العظمى ا لمحورى والهيكل العظمى الطرفى. يشمل الهيكل العظمى المحورى ، الذى يشكل المحور المركزى الداعم للجسم، الجمجمة، عظيمات السم ع)عظام الأذن الوسطى(، عظم اللامة، العمود الفقرى، وقفص الصدر) الأضلاع وعظم القص(. يشمل الهيكل العظمى الطرفى عظام الطرف ا لعلوى وحزام الكتف وعظام الطرف السفلى وحزام الحوض.

8.1a عظام الجهاز الهيكلى

غالبًا ما يُقال إن هناك 206 عظام فى الهيكل العظمى، لكن هذا هو ال عدد النموذجى للبالغين فقط، وليس عددًا ثابتًا. عند الولادة، يوجد حوا لى 270 عظمة، وتتكون عظام أكثر خلال الطفولة. مع التقدم فى العمر، ينخفض العدد تدريجيًا مع اندماج العظام المنفصلة. على سبيل الم ثال، يحتوى كل جانب من حزام الحوض لدى الطفل على ثلاث عظام — *الحرقفة، العجز،* و *العانة*—لكن فى البالغين، تندمج هذه لتصبح ع *ظمة الحوض* الواحدة على كل جانب.



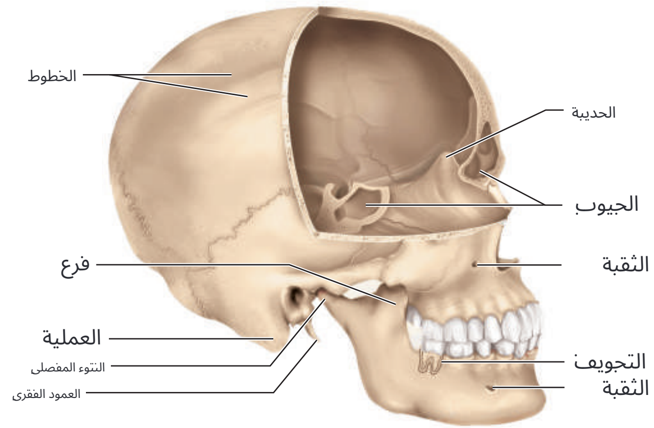
الشكل 8.1 الهيكل العطمى البالغ.)أ(منظر أمامى.)ب(منظر خلفى. الهيكل العطمى الطرفى ملون بالأخضر)الأطراف وأحزمة الأطراف(، وبقية الهيكل العطمى محورى)العمود الفقرى، القفص الصدرى، والجمجمة(. APR

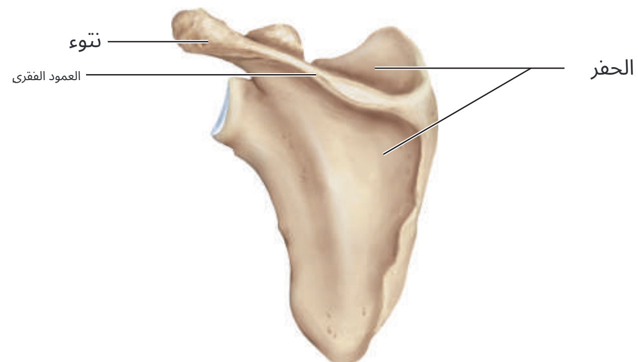
سبب آخر للاختلاف بين البالغين هو أن بعض الأشخاص لديهم عطام إضافية فى الجمجمة تسمى العطام الخيطية (SOO-chur-ul))انظر الشكل 8.8(. بعض الأوتار استجابة للإجهاد. الرضفة)صابونة الركبة(هى الأكبر من بين هذه؛ ومعظم العطام الأخرى صغيرة ومستديرة فى مواقع مثل اليدين والقدمين)انظر الشكل 8.36ح(.

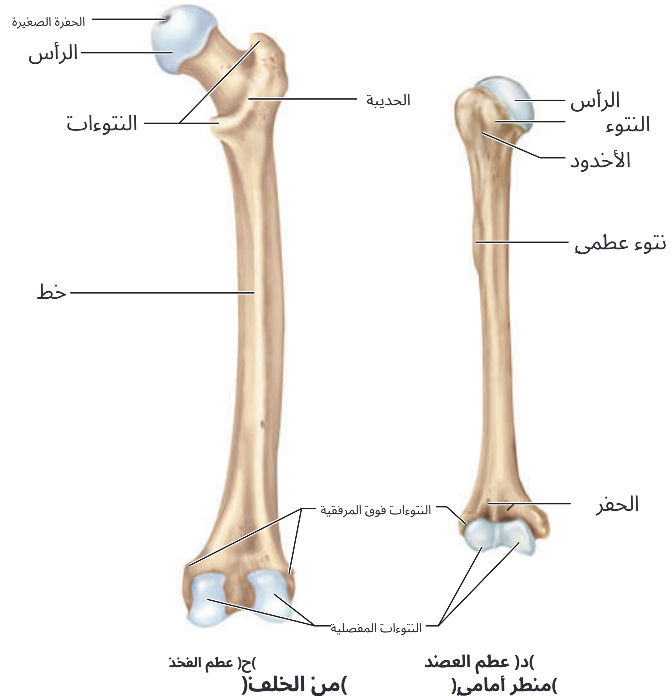
8.1ب الخصائص التشريحية للعظام

تظهر العظام مجموعة متنوعة من الحواف، الأشواك، النتوءات، الانخفاضات، القنوات، المسام، الشقوق، التجاويف، والأسطح المفصلية. من المهم معرفة أسماء هذه *العلامات العظمية* لأن الوصف اللاحق للمفاصل، مرفقات العضلات، والمسارات التى تسلكها الأعصاب والأوعية الدموية يعتمد على هذه المصطلحات. تم سرد مصطلحات أكثر الميزات العظمية شيوعًا فى الجدول 8.2 وتم توضيح بعضها فى الشكل 8.2.

الجدول 8.2	الميزات التشريحية)العلامات(للعظام
تشمل البنية التشريحية للجلد	الوصف والمثال
	المفاصل)أسطح المفصل(
النتوء	عقدة مستديرة تتصل بعظم آخر)النواتئ القذالية للجمجمة(
الوجه	سطح مفصلى أملس، مسطح، مقعر قليلاً أو محدب)الوجوه المفصلية للفقرات(
الرأس	النهاية البارزة الموسعة للعظم، أحيانًا مستديرة (رأس عظم الفخذ(
	الامتدادات والبروزات
الحديبة	حافة ضيقة)الحديبة الحرقفية للحوض(
النتوء فوق اللقمى	منطقة متوسطة قريبة من اللقمة)النتوء فوق اللقمى الإنسى لعظم الفخذ(
خط	حدبة مرتفعة قليلاً ومطولة)خطوط الرقبة فى الجمجمة(
نتوء	أى بروز عظمى)النتوء الخشائى فى الجمجمة(
بروز	نمو عظمى أو جزء بارز)البروز الذقنى فى الذقن(
فرع	فرع أو ذراع)فرع الفك السفلى(
العمود الفقرى	نتوء حاد، نحيف، أو ضيق)الأشواك الذقنية للفك السفلى(
المدور	عمليتان ضخمتان فريدتان لعظم الفخذ
النتوء	نتوء صغير ومستدير)النتوء الأكبر لعظم العضد(
نتوء عظمى	سطح مرتفع خشن)نتوء الظنبوب(
	الانخفاضات
الحويصلة	حفرة أو تجويف)تجويف السن(
الحفرة	حوض ضحل، واسع، أو ممدود)الحفرة الفكية(
الحفرة الصغيرة	حفرة صغيرة)حفرة رأس عظم الفخذ(
الأخدود	أخدود لأوتار أو أعصاب أو أوعية دموية)الأخدود بين الحدبتين لعظم العضد(
	الممرات والتجاويف
القناة	ممر أنبوبى أو نفق فى العظم)القناة السمعية فى الجمجمة(
الشق	شق فى العظم)الشقوق المدارية خلف العين(
الثقبة	ثقب فى العظم، عادةً ما يكون دائريًا)الثقبة الكبيرة فى الجمجمة(
الجيب	فراغ مملوء بالهواء فى العظم)الجيب الجبهى فى الجبهة(







الشكل 8.2 الميزات التشريحية للعظام.)أ(الجمجمة، منظر جانبى.)ب(الكتف، منظر خلفى.)ح(عظم الفخذ، منظر خلفى.)د(عظم العضد، منظر أمامى. معظم هذه الميزات توجد أيضًا فى العديد من العظام الأخرى فى الجسم.

ج. تحديد التجاويف فى الجمجمة وفى بعض عظامها الفردية؛

د. تسمية الدروز الرئيسية التى تربط عظام الجمجمة؛

هـ. وصف بعض العظام المرتبطة ارتباطًا وثيقًا بالجمجمة؛ و

و. وصف تطور الجمجمة من الطفولة المبكرة وحتى الطفولة.

الجمجمة هى الجزء الأكثر تعقيدًا فى الهيكل العظمى. على الرغم من أنها قد تبدو مكونة فقط من الفك السفلى و"الباقى"، إلا أنها تتألف من 22 عظمة وأحيانًا أكثر. تعرض الأشكال 8.3 حتى **8.5** نظرة عامة على تشريحها العام؛ وتُوصف عظامها الفردية فى القسمين 8.2أ و8.2ب.

يحتوى الجمجمة على عدة تجاويف بارزة)الشكل 8.6(. أكبرها، بحجم حوالى 1350 مل عند البالغين، هو التجويف القحفى، الذى يحيط بالدماغ. تشمل التجاويف الأخرى الحجاج)مآخذ العين(، التجويف الأنفى، التجويف الفموى)الفموى(، تجاويف الأذن الوسطى والداخلية، والجيوب الأنفية حول الأنف. تُسمى هذه الجيوب حسب العظام التى توجد فيها — الجيوب الجبهية، الوتدية، الغربالية، والجيوب الفكية)الشكل 8.7(. وهى متصلة بالتجويف الأنفى، مبطنة بغشاء مخاطى، ومملوءة بالهواء. تعمل على تخفيف وزن الجزء الأمامى من الجمجمة وتعمل كغرف تصنيف رنينًا للصوت. يمكن ملاحظة هذا التأثير فى الطريقة التى يتغير بها صوتك عندما تصاب بالزكام ويعيق المخاط انتقال الصوت إلى الجيوب والعودة.

معظم عظام الجمجمة متصلة بمفاصل غير قابلة للحركة تُسمى الدروز)SOO-chers(، وهى مرئية كخيوط على السطح. هذه تشكل معالم مهمة فى الوصف الذى يلى. معظمها مُعنون فى الأشكال التالية؛ وبعضها يُرى بشكل أفضل فى سقف التجويف القحفى، المسمى القحف[2])الشكل 8.8(.

تحتوى عظام الجمجمة على العديد من الثقوب — المفرد، الثقب)fo-RAY-men(— وهى فتحات تسمح بمرور الأعصاب والأوعية الدموية التى تؤدى إلى الدماغ ومنه. تم تلخيص عدة ثقوب رئيسية فى الجدول 8.3. بعض هذه الثقوب ستكون ذات صلة كبيرة عند دراسة الفصول اللاحقة التى تصف الأعصاب القحفية والأوعية الدموية التى تمر من خلالها.

[2] القحف = أصلع، الجمجمة

من المحتمل أن تدرس كلًا من الهياكل العظمية المترابطة)العظام المجففة المربوطة بأسلاك وقضبان لإظهار علاقاتها المكانية ببعضها البعض(و العظام المفككة)العظام المفككة بحيث يمكن دراسة ميزات سطحها بمزيد من التفصيل(. أثناء دراستك لهذا الفصل، استخدم نفسك كنموذج. يمكنك بسهولة لمس)الإحساس(العديد من العظام وبعض تفاصيلها من خلال الجلد. قم بتدوير ساعدك؛ عبر ساقيك؛ المس جمجمتك، ركبتك، كوعك، ومعصمك؛ وفكر فيما يحدث تحت السطح أو ما يمكنك الشعور به من خلال الجلد. ستحصل على أقصى استفادة من هذا الفصل)وبالفعل، من الكتاب بأكمله(إذا كنت واعيًا لجسمك الخاص بالنسبة لما تدرسه.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

1. سمِّ المكونات الرئيسية للهيكل العظمى المحورى. سمّ مكونات الهيكل العظمى الطرفى.
2. اشرح لماذا لا يمتلك البالغ عددًا من العظام مثل الطفل. اشرح لماذا قد يمتلك شخص بالغ عددًا من العظام أكثر من آخر.
3. وصف موجز لكل من ميزات العظام التالية: الكونديلا، التل، العقدة، الحفرة، الأخدود، والثقب.

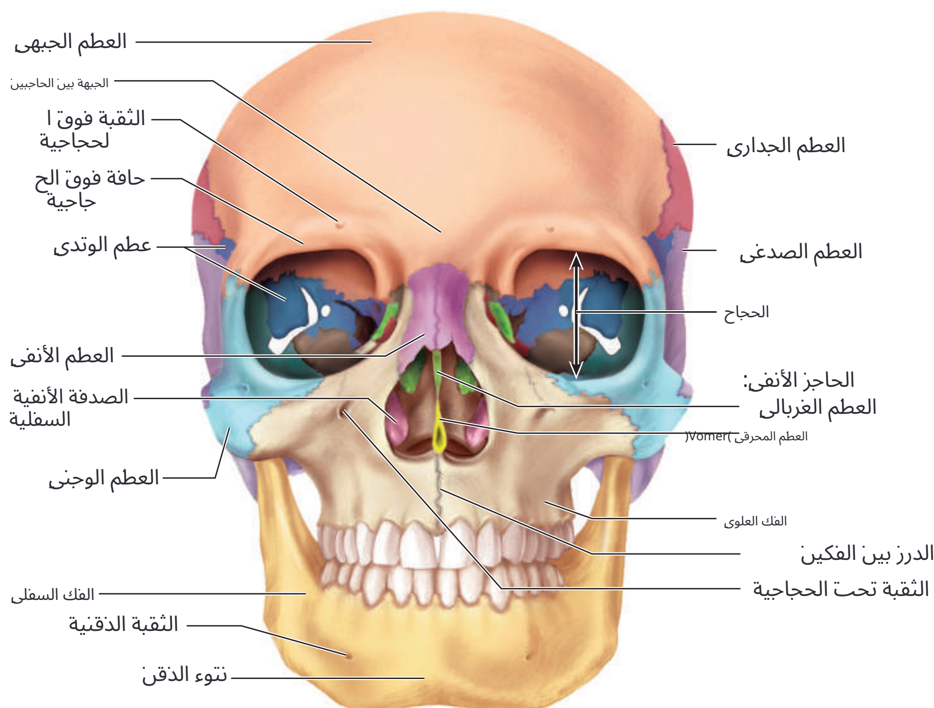
8.2 الجمجمة

نتائج التعلم المتوقعة

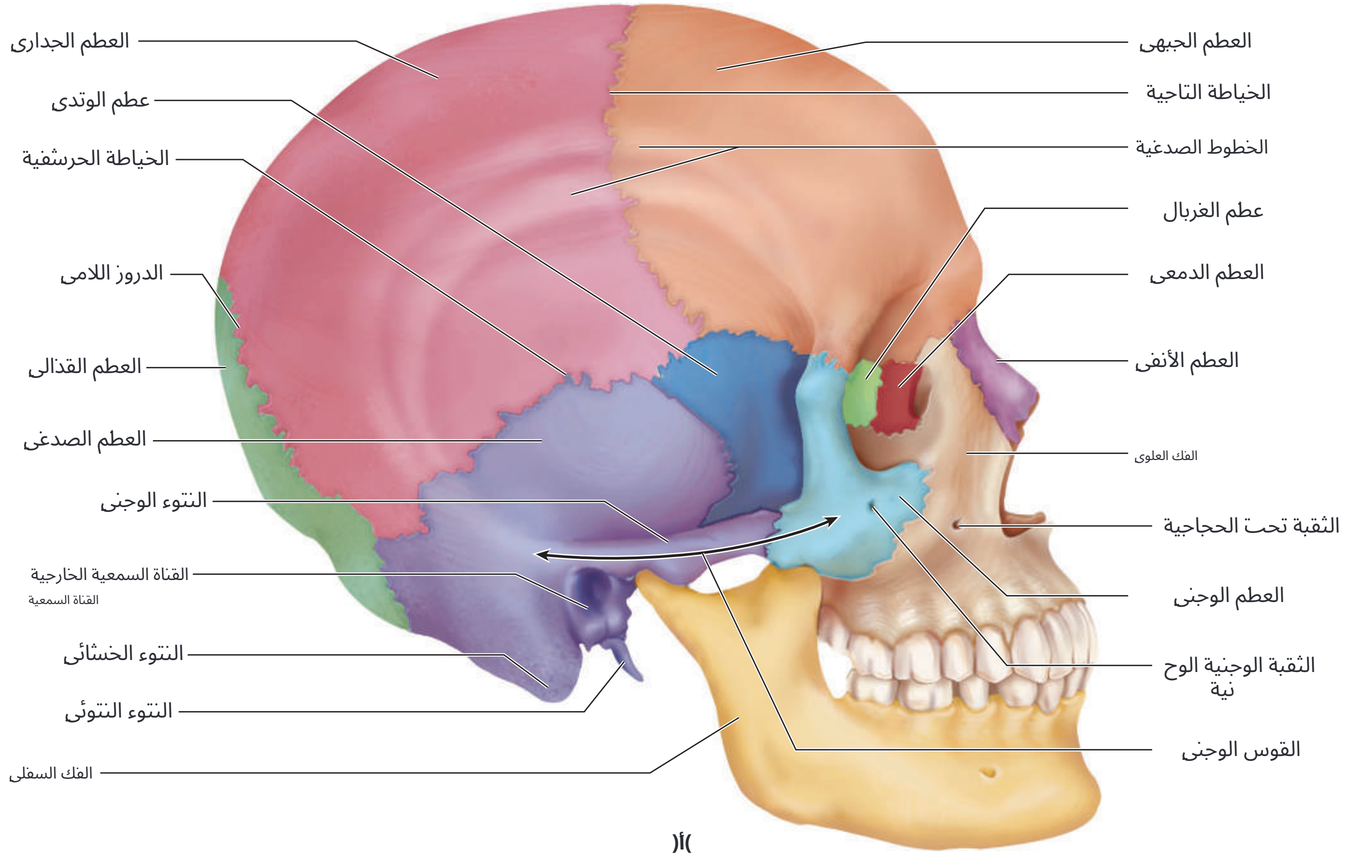
عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

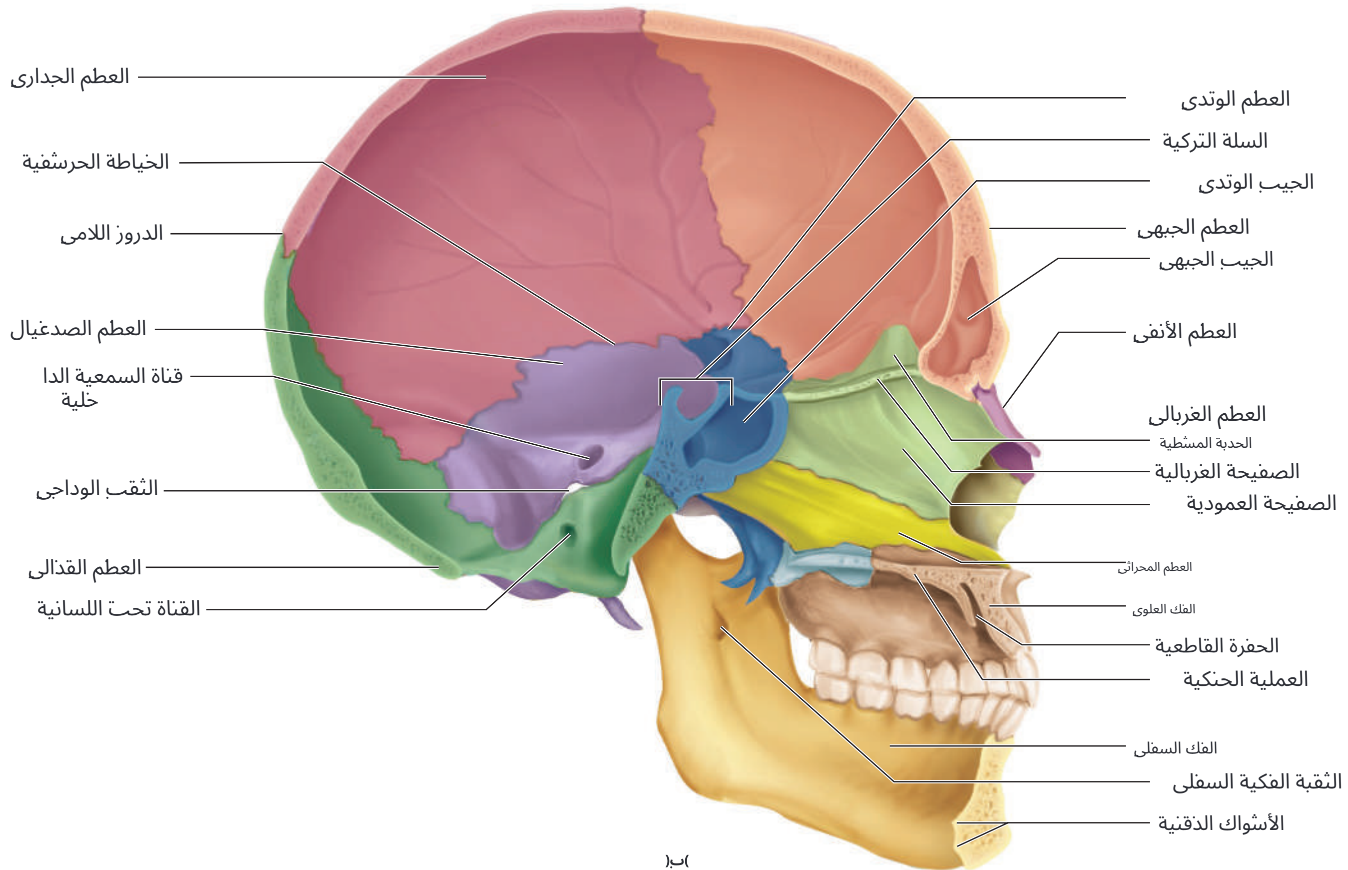
أ. تمييز بين عظام القحف والعظام الوجهية؛

ب. سمِّ عظام الجمجمة وميزاتها التشريحية؛

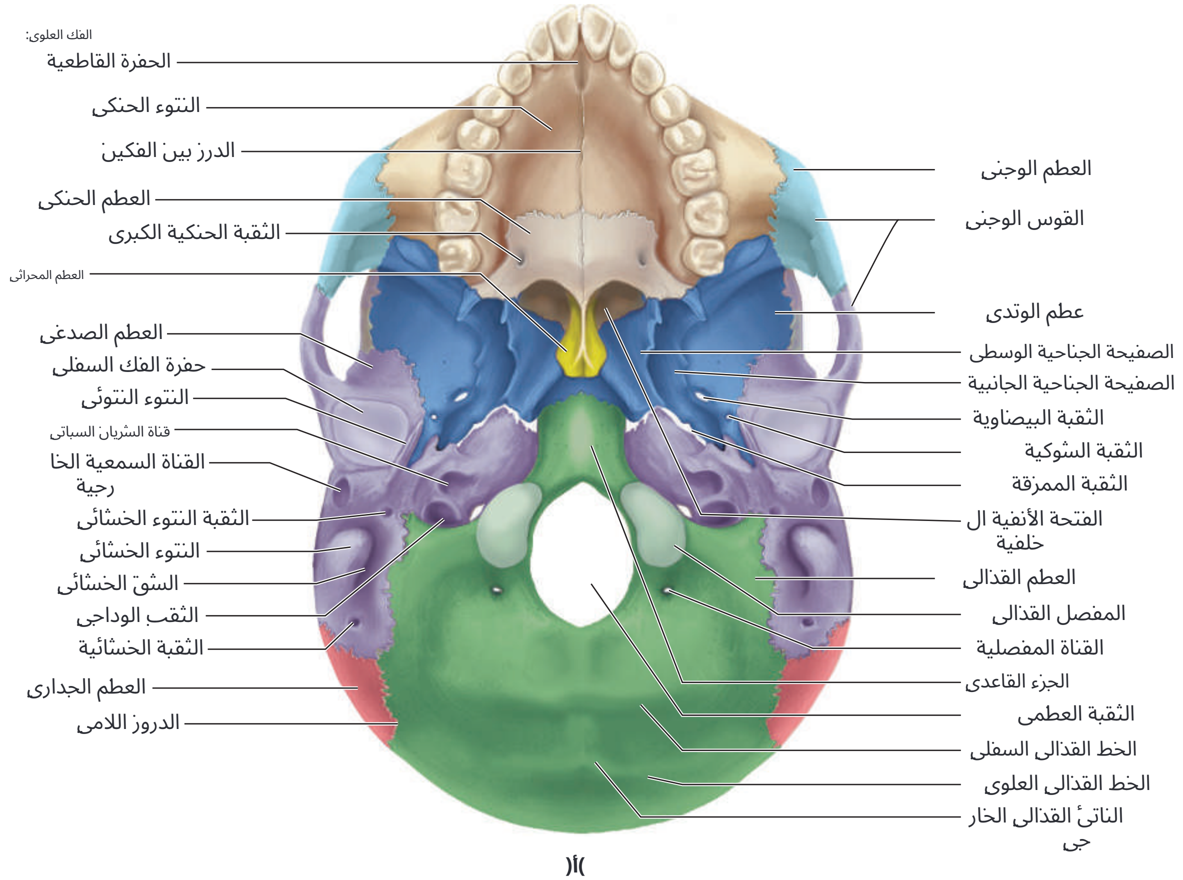


الشكل 8.3 الجمجمة)منظر أمامى(.
بعض الميزات غير المعنونة هنا تم تحديدها من مناظير أخرى فى الأشكال التى تلى. APR

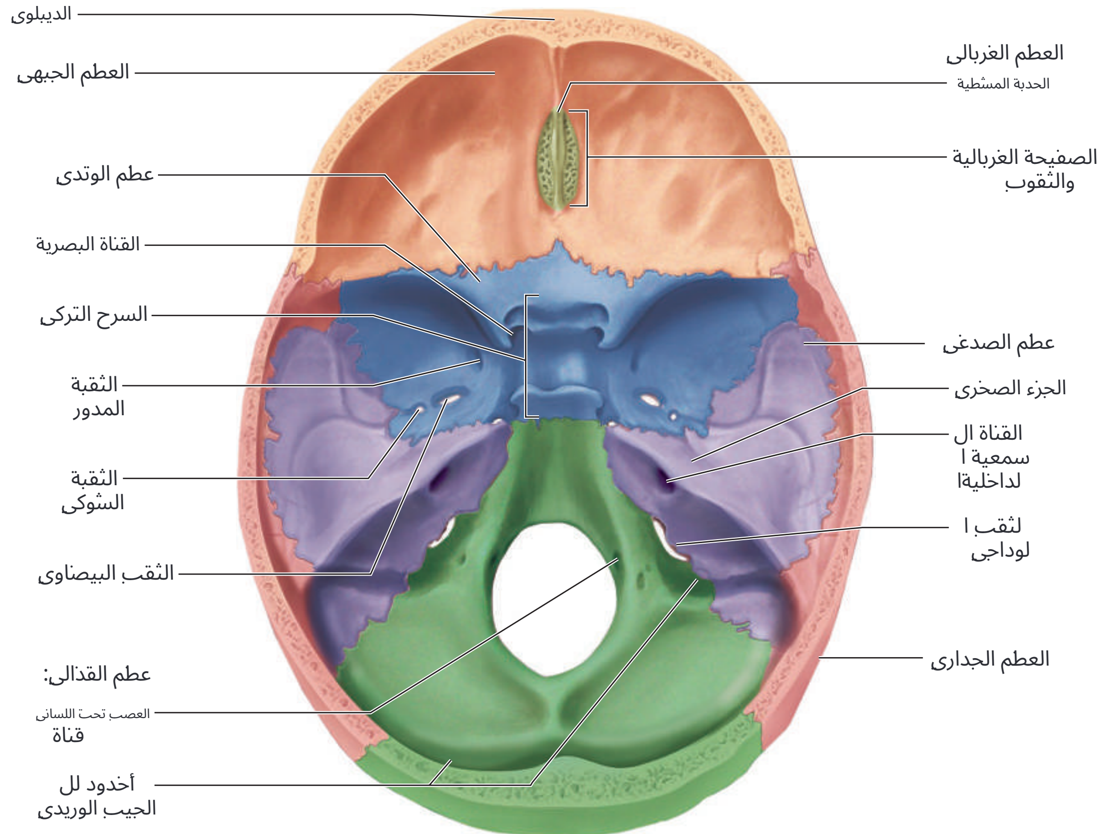




APR الشكل 8.4 الجمجمة.)أ(تشريح السطح الجانبى الأيمن.)ب(التشريح الداخلى، المقطع الوسيط.

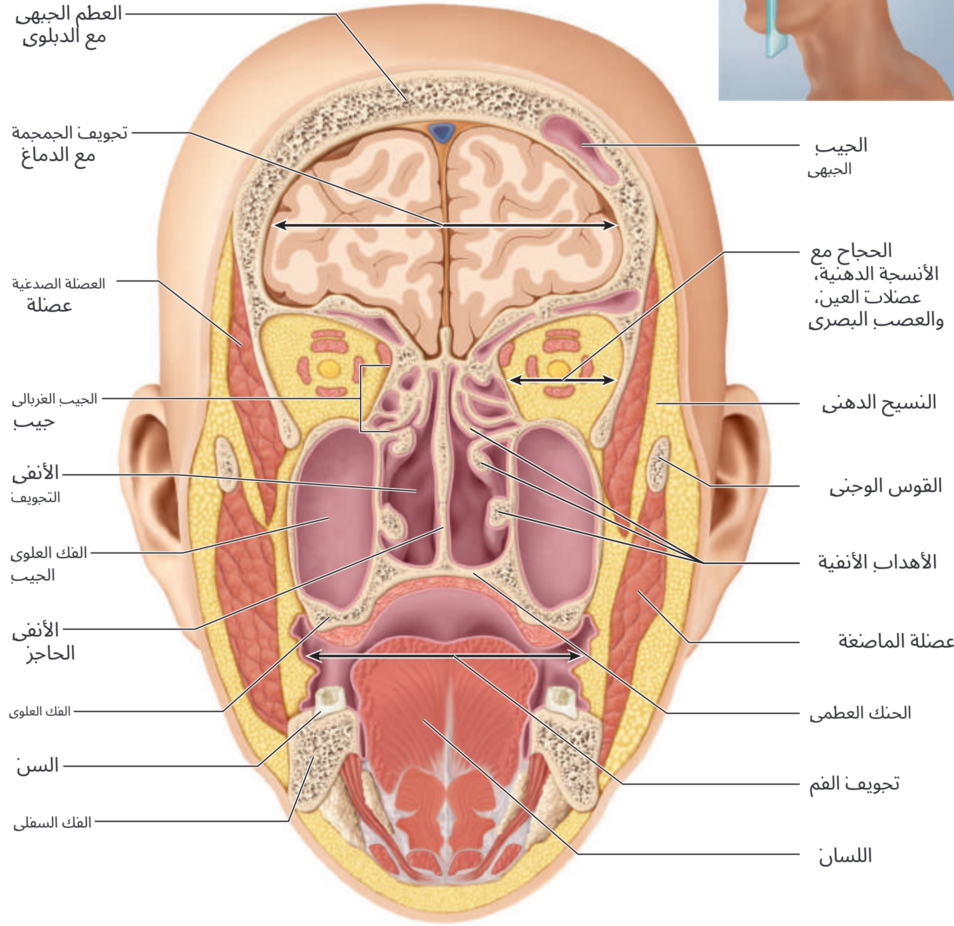


)أ(

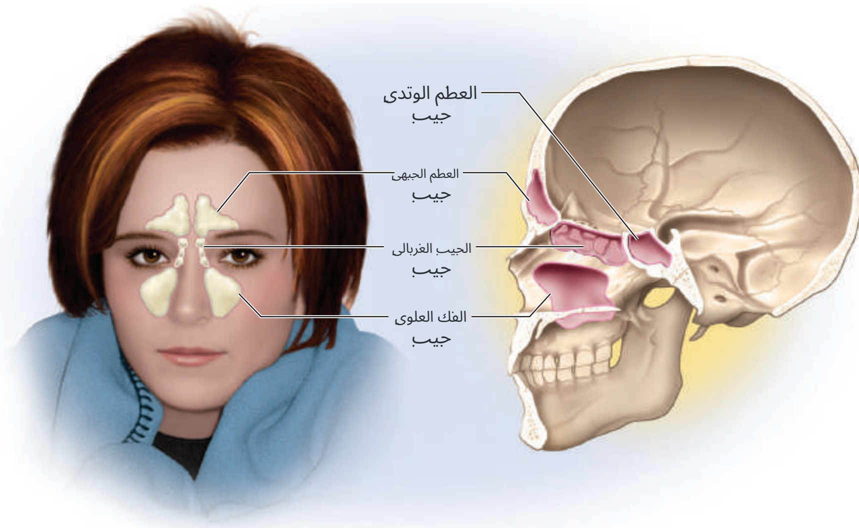


)ب(منظر علوى لقاع الجمجمة

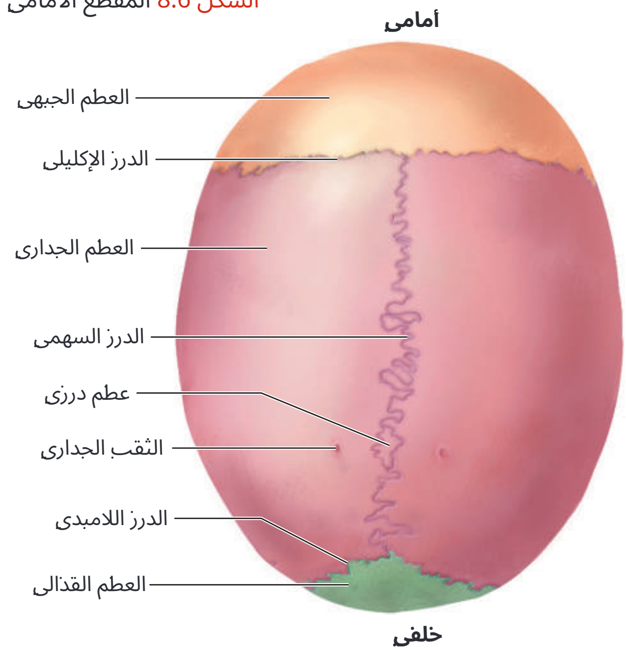
APR الشكل 8.5 قاعدة الجمجمة.)أ(منظر سفلى.)ب(منظر علوى لأرضية الجمجمة.



الشكل 8.6 المقطع الأمامى للرأس. يُظهر هذا التجاويف الرئيسية للجمجمة ومحتوياتها.



الشكل 8.7 الجيوب الأنفية حول الأنف.



APR الشكل 8.8 القبة الجمجمية)غطاء الجمجمة( )منظر علوى(.

الجدول 8.3 الثقوب فى الجمجمة والأعصاب والأوعية الدموية التى تمر من خلالها

العظام وثقوبها	الهياكل المارة
العظم الجبهى	
الثقب فوق الحجاجى أو الشق	العصب فوق الحجاجى، الشريان، والوريد
العظم الصدغى	
القناة السباتية	الشريان السباتى الداخلى
الفتحة السمعية الخارجية	موجات الصوت إلى طبلة الأذن
الفتحة السمعية الداخلية	العصب الدهليزى القوقعى
الثقب الوداجى	الوريد الوداجى الداخلى؛ الأعصاب اللسانية البلعومية، المبهم، والإضافى
العظم القذالى	
الثقبة العظمى	الحبل الشوكى؛ العصب الإضافى؛ الشرايين الفقرية
القناة تحت اللسانية	العصب تحت اللسانى إلى عضلات اللسان
العظم الوتدى	
الثقب البيضاوى	القسم الفكى للعصب الثلاثى التوائم؛ الشريان السحائى الإضافى
الثقب المدور	القسم الفكى العلوى للعصب الثلاثى التوائم
القناة البصرية	العصب البصرى؛ الشريان العينى
الشق المدارى العلوى	العصب المحرك للعين، العصب البكرى، والعصب المبعد؛ الفرع العينى من العصب الثلاثى التوائم؛ الأوردة العينية
الفك العلوى	
الشق المدارى السفلى	العصب تحت المدارى؛ العصب الوجنى؛ الأوعية تحت المدارية
الثقب تحت المدارى	العصب والأوعية تحت المدارية
الفك السفلى	
الثقب الذقنى	العصب والأوعية الذقنية
الثقب الفكى السفلى	الأعصاب والأوعية السنخية السفلية للأسنان السفلية

8.2أ عظام الجمجمة

تنقسم عظام الجمجمة إلى مجموعتين—العظام القحفية، التى تحيط بالدماغ، و*العظام الوجهية*، التى تشكل الجزء الأمامى السفلى من الجمجمة، بما فى ذلك الفكوك والأنف وأجزاء من التجويف)الشكل 8.9).

تشكل العظام القحفية معًا القحف[3])غلاف الدماغ(. لا يتلامس نسيج الدماغ الرقيق مباشرة مع العظام، بل يفصله عنها ثلاث أغشية تُسمى *السحايا*)meh-NIN-jeez(. أكثرها سمكًا وقوة، هى *الأم الجافية*[4])DUE-rah MAH-tur(، التى تضغط على السطح الداخلى للقحف فى معظم الأماكن وترتبط به بقوة فى بعض النقاط.

القحف هو هيكل صلب يحتوى على فتحة، *الثقبة العظمى*)تعنى حرفيًا "الثقب الكبير"(، حيث يلتقى الحبل الشوكى بالدماغ. يتكون القحف من جزأين رئيسيين—القبة القحفية وقاعدة القحف. القبة القحفية)غطاء الجمجمة(ليست عظمة واحدة بل هى قبة الجزء العلوى من الجمجمة؛ تتكون من أجزاء من عدة عظام تشكل السقف والجدران)انظر الشكل 8.8(. فى الجماجم المُعدة للدراسة، غالبًا ما تُنشر القبة القحفية بحيث يمكن رفع جزء منها لفحص الداخل. هذا يكشف عن القاعدة)الأرضية(لتجويف القحف)انظر الشكل 8.5ب(، والتى تظهر ثلاث تجاويف مزدوجة تُسمى الحُفر القحفية. تتوافق هذه مع شكل السطح السفلى للدماغ)الشكل 8.10(. الحفرة القحفية الأمامية الضحلة نسبيًا على شكل هلال وتستوعب الفصوص الجبهية للدماغ. الحفرة القحفية الوسطى، التى تنخفض فجأة إلى عمق أكبر، على شكل زوج من أجنحة الطيور الممتدة وتستوعب الفصوص الصدغية. الحفرة القحفية الخلفية هى الأعمق وتحتوى على جذع الدماغ وقسم خلفى كبير من الدماغ يُسمى المخيخ.

هناك ثمانية عظام قحفية:

1 عظمة مؤخرة الرأس	1 عظمة جبهية
1 عظم الوتدى	2 عظام جداريّة
1 عظم الغربالى	2 عظام الصدغ

العظم الجبهى

يمتد العظم الجبهى من الجبهة إلى الخلف حتى الدرز التاجى البارز، الذى يعبر تاج الرأس من اليمين إلى اليسار ويربط العظم الجبهى بالعظام الجداريّة)انظر الأشكال 8.3 و8.4(. يشكل العظم الجبهى الجدار الأمامى وحوالى ثلث سقف التجويف القحفى، ويتجه إلى الداخل ليكوّن معظم الحفرة القحفية الأمامية وسقف الحجاج.

---
[3] *crani* = خوذة
[4] *dura* = قوى، متين؛ *mater* = أم

أسفل الحاجبين يوجد نتوء يُسمى الحافة فوق الحجاجية. كل حافة م خترقة بفتحة واحدة الثقب فوق الحجاجى)انظر الأشكال 8.3 و8.15(، والتى تسمح بمرور عصب، وشريان، وأوردة. فى بعض الأشخاص، حا فة هذا الثقب تخترق حافة التجويف وتشكل شق فوق الحجاج.

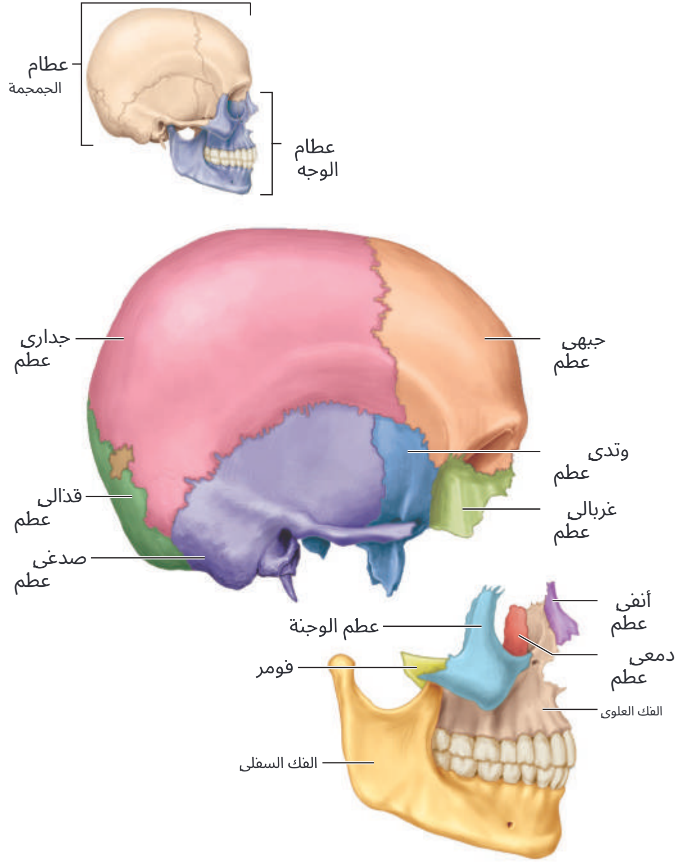
قد يكون لدى الشخص ثقب فى إحدى الحافتين فوق الحجاجيتين و شق فى الأخرى. المنطقة الملساء من عظم الجبهة فوق جذر الأنف تُ سمى الغلابيلا.[5] يحتوى عظم الجبهة أيضًا على الجيب الجبهى. قد لا ترى هذا الجيب فى جميع الجماجم. فى بعضها، يتم قطع القبة الجمج مية عالياً جدًا بحيث لا يظهر، وبعض الأشخاص ببساطة لا يمتلكونه. على طول حافة القطع فى القبة الجمجمية، يمكنك أيضًا رؤية الدبلوى (DIP-lo-ee)—وهى طبقة العظم الإسفنجى فى وسط عظام الجمجمة)انظر الشكل 8.5ب(.

عظام الجدارى

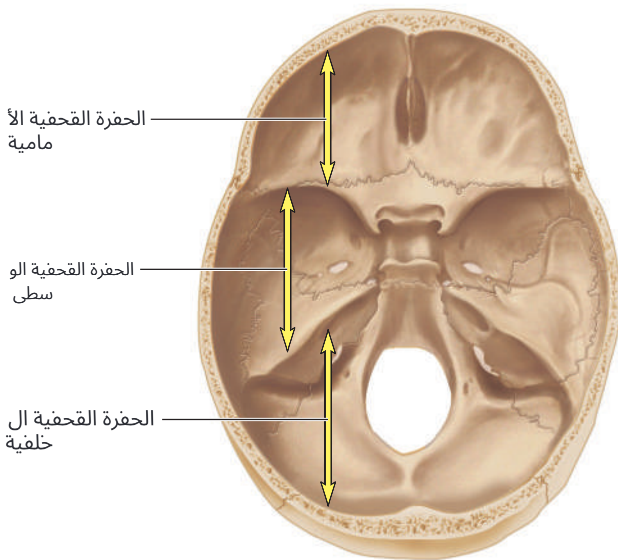
تشكل عظام الجدارى اليمنى واليسرى)pa-RY-eh-tul(معظم سقف الجمجمة وجزءًا من جدرانها)انظر الأشكال 8.4 و8.8(. كل منها محاط بأربعة دروز تلتحم بها مع العظام المجاورة:)1(درز سهمى بين عظام ا لجدارى؛)2(درز تاجى[6] عند الحافة الأمامية؛)3(درز لامبدوى (LAM[7]-doyd) عند الحافة الخلفية؛ و)4(درز قشرى جانبيًا. غالبًا ما تُرى عظام درزية صغيرة على طول الدروز السهمية واللامبدوية، مثل ح زر صغيرة من العظم تمر حولها خطوط الدروز. داخليًا، تحتوى عظام ال جدارى والجبهة على علامات تشبه إلى حد ما الصور الجوية لتفرعات ا لأنهار)انظر الشكل 8.4ب(.

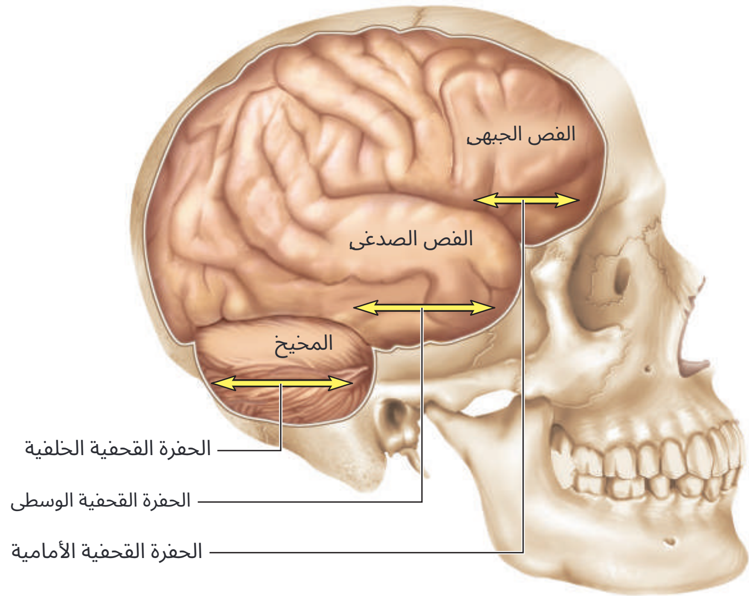
تمثل هذه الأماكن حيث شكل العظم نفسه حول الأوعية الدموية للأغ شية السحائية.

[5] *جلاب* = ناعم
[6] *كورونا* = تاج
[7] على شكل الحرف اليونانى لامدا)λ(

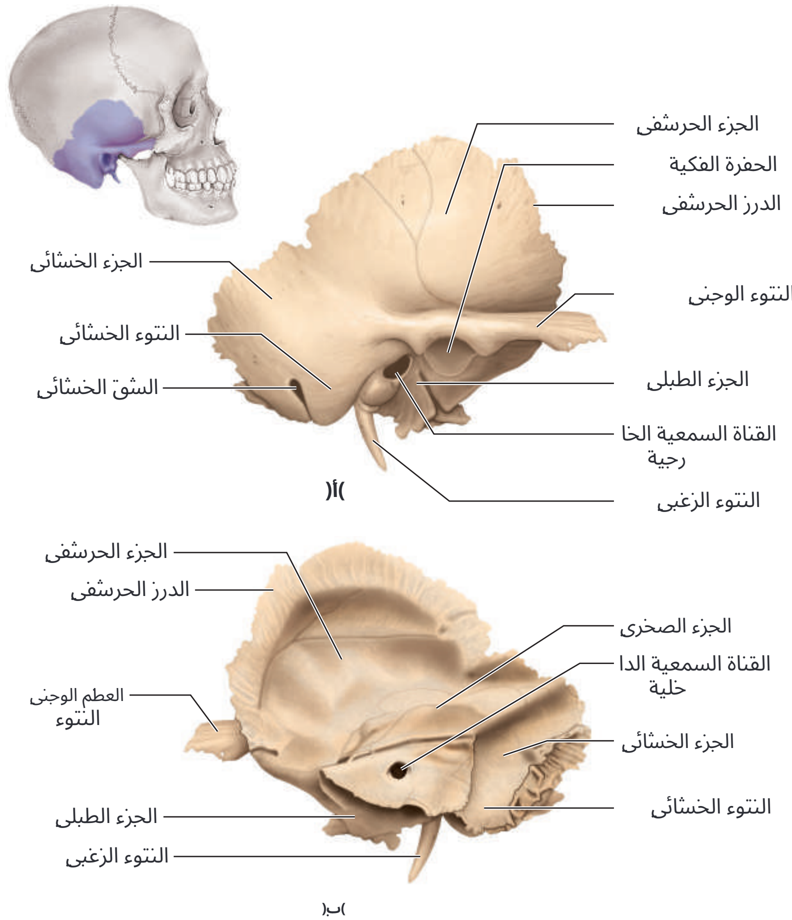


الشكل 8.9 عظام القحف والوجه.





الشكل 8.10 الحفر القحفية.)أ(منظر علوى.)ب(منظر جانبى يوضح كيف تتوافق الحفر الثلاث مع تضاريس قاعدة الدماغ.



الشكل 8.11 العظم الصدغى الأيمن.)أ(السطح الجانبى، المواجه لفروة الرأس والأذن الخارجية.)ب(السطح الوسيط، المواجه للدماغ.

APR

اذكر خمسة عظام تتصل بالعظم الصدغى.

خارجيًا، تحتوى عظام الجدارى على عدد قليل من المميزات. أحيانًا يظهر ثقب جدارى بالقرب من زاوية الدرز اللامبدوى والسهمى)انظر الشكل 8.8(. وهو مخرج لوريد صغير من جيب دموى فوق الدماغ. زوج من التخينات الجانبية الطفيفة، الخطوط الزمنية العلوية والسفلية، تشكل قوسًا عبر عظام الجدارى والجبهة)انظر الشكل 8.4(. تشير هذه إلى موضع ارتباط عضلة الصدغ الكبيرة، المروحية الشكل، وهى عضلة مضغ تلتقى على الفك السفلى.

العظام الصدغية

إذا قمت بتحسس جمجمتك فوق وأمام الأذن مباشرةً—أى فى المنطقة الصدغية—يمكنك أن تشعر بالعظم الصدغى، الذى يشكل الجدار السفلى وجزءًا من أرضية التجويف القحفى)الشكل 8.11(. عظم الصدغ يستمد اسمه من حقيقة أن الناس غالبًا ما يظهر لديهم أول شعيرات رمادية على الصدغين مع مرور الزمن.[8] الشكل المعقد نسبيًا لعظم الصدغ يُفهم بشكل أفضل عند تقسيمه إلى أربعة أجزاء:

1. الجزء القشرى[9])الذى لمسته للتو(مسطح نسبيًا وعمودى. وهو محاط بخياطة القشرية. يحمل بارزتان:)أ(النتوء الوجنى، الذى يمتد إلى الأمام ليشكل جزءًا من القوس الوجنى، الموضح لاحقًا؛ و)ب(الحفرة الفكية السفلية، وهى انخفاض حيث يرتبط الفك السفلى مع الجمجمة.
2. الجزء الطنبلى[10] هو حلقة صغيرة من العظم تحيط بفتحة القناة السمعية الخارجية (me-AY-tus)، أو قناة الأذن. يحتوى على شوكة مدببة على سطحه السفلى، وهى النتوء الزغبى، الذى سُمى بهذا الاسم لتشابه شكله مع القلم المستخدم من قبل اليونانيين والرومان القدماء للكتابة على ألواح الشمع. يوفر النتوء الزغبى نقطة ارتكاز لعضلات اللسان والبلعوم وعظم اللام.
٣. الجزء الخشائى[11] يقع خلف الجزء الطبلى.يحمل نتوءًا عظميًا ثقيلًا يسمى النتوء الخشائى، والذى يمكنكالتحسس عليه ككتلة بارزة خلف شحمة الأذن. وهومملوء بتجاويف هوائية صغيرة تتصل بتجويف الأذن الوسطى. هذه التجاويف عرضة للعدوى والالتهاب)التهاب الخشاء(، *التى يمكن أن يؤدى إلى تآكل العظم وانتشار الالتهاب إلى الدماغ. يوجد أخدود يسمى الشق الخشائى* يقع وسطيًا بالنسبة للنتوء الخشائى)انظر الشكل 8.5أ(. وهو نقطة الارتكاز العلوية لعضلة *ذات البطنين*، التى تفتح الفم. الشق مثقوب فى نهايته الأمامية بواسطة الثقبة الخشائية النتوئية، التى تمر من خلالها فرع من العصب الوجهى، وفى نهايته الخلفية بواسطة الثقبة الخشائية، التى تمر من خلالها شريان صغير ووريد من الدماغ.

٤. الجزء الصخرى[12] يمكن رؤيته فى قاع الجمجمة، حيث يشبه سلسلة جبال صغيرة تفصل بين الحفرة القحفية الوسطى والحفرة الخلفية)الشكل 8.11ب(. يحتوى على تجاويف الأذن الوسطى والداخلية. الجزء الداخلى القناة السمعية، فتحة على سطحها الخلفى الوسيط، تسمح بمرور عصب ينقل الإشارات الخاصة بالسمع والتوازن من الأذن الداخلية إلى الدماغ. على السطح السفلى لجزء الصخرى توجد فتحتان بارزتان مسماتان على اسم الأوعية الدموية الرئيسية التى تمر من خلالهما)انظر الشكل 8.5أ(:)أ(قناة الشريان السباتى هى ممر للشريان السباتى الداخلى، وهو مصدر دم رئيسى للدماغ. هذه الشريان قريب جدًا من الأذن الداخلية بحيث يمكن أحيانًا سماع نبض دمه عندما تستريح الأذن على الوسادة أو عندما ينبض القلب بقوة.)ب(الثقب الوداجى هو فتحة كبيرة وغير منتظمة تقع مباشرةً إلى الداخل من النتوء النتوئى، بين عظام الصدغى والقذالى. يتدفق الدم من الدماغ عبر هذا الثقب إلى الوريد الوداجى الداخلى فى الرقبة. كما تمر ثلاثة أعصاب قحفية عبر هذا الثقب)انظر الجدول 8.3(.

العطم القذالى

العطم القذالى (oc-SIP-ih-tul) يشكل الجزء الخلفى من الجمجمة)القذال(ومعظم قاعدتها)انظر الشكل 8.5(. أبرز ميزاته، الثقب الكبير (foramen magnum)، يسمح للحبل الشوكى بالدخول إلى التجويف القحفى؛ الغشاء الجافية (dura mater) متصل بحافة هذا الثقب. من الاعتبارات المهمة فى إصابات الرأس هو تورم الدماغ.

[8] tempor = الزمن
[9] squam = مسطح؛ ous = مميز بـ
[10] طبلة الأذن = طبلة)غشاء الطبل(؛ ic = متعلق بـ
[11] ثدى = ثدى؛ oid = على شكل
[12] حجر = حجر، صخر؛ ous = مثل

من هذا البروز نحو النتوء الخشائى)انظر الشكل 8.5أ(.
يحدد الحد الأعلى للرقبة ويوفر نقطة ارتكاز للجمجمة لعدة عضلات فى الرقبة والظهر. يشكل الحد الذى عند لمسه فى الجزء العلوى من الرقبة تشعر فيه بالانتقال من العضلة إلى العظم. من خلال سحب عظم القذالى إلى الأسفل، تساعد بعض هذه العضلات فى إبقاء الرأس منتصبًا. الخط القذالى السفلى الأعمق يوفر نقطة ارتكاز لبعض عضلات الرقبة العميقة. هذا الحافة غير الواضحة لا يمكن تحسسها على الجسم الحى لكنها مرئية على الجمجمة المعزولة.

العظم الوتدى

العظم الوتدى)SFEE-noyd(له شكل معقد مع جسم وسطى سميك وأجنحة أكبر وأصغر ممدودة، مما يعطى العظم ككل شكلًا غير منتظم يشبه فراشة الليل. يمكن رؤية معظم العظم بشكل أفضل من المنظور العلوى)الشكل 8.12أ(. فى هذا المنظور، تشكل الأجنحة الأصغر الحد الخلفى للحفرة القحفية الأمامية وتنتهى عند حافة عظمية حادة، حيث ينخفض العظم الوتدى فجأة إلى الأجنحة الأكبر. تشكل الأجنحة الأكبر حوالى نصف الحفرة القحفية الوسطى)ويشكل العظم الصدغى الباقى(وهى مثقبة بعدة ثقوب.

تشكل الجناح الأكبر أيضًا جزءًا من السطح الجانبى للجمجمة أمام العظم الصدغى مباشرة)انظر الشكل 8.4أ(. يشكل الجناح الأصغر الجدار الخلفى للحجاج ويحتوى على القناة البصرية، التى تسمح بمرور العصب البصرى والعصب العينى.

نظرًا لأن الجمجمة لا يمكن أن تتوسع، فإن التورم يضغط على الدماغ وينتج عنه المزيد من تلف الأنسجة. يمكن أن يؤدى التورم الشديد إلى إجبار جذع الدماغ على الخروج من خلال الثقبة العظمى، وعادةً ما يكون ذلك له عواقب قاتلة.

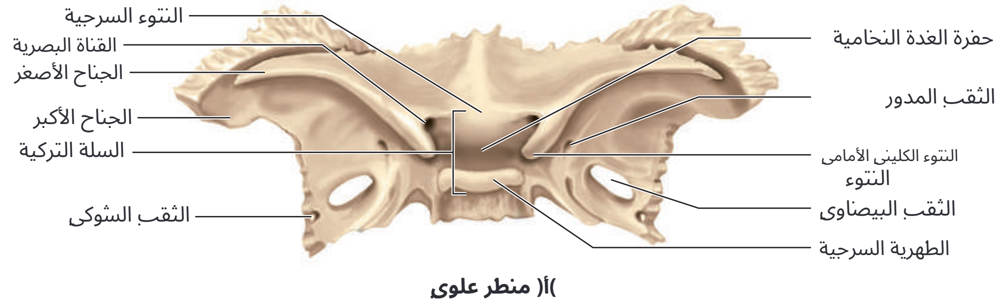
يستمر العظم القذالى إلى الأمام كلوح وسطى سميك، وهو الجزء القاعدى. على جانبى الثقبة العظمى يوجد نتوء أملس يسمى اللقمة القذالية)CON-dile(، حيث ترتكز الجمجمة على العمود الفقرى. يمر تحت كل لقمة نفق يسمى القناة تحت اللسانية[13]، مسماة على اسم العصب تحت اللسانى الذى يمر من خلالها ليعصب عضلات اللسان.
فى بعض الأشخاص، توجد قناة اللقمة)CON-dih-lur(خلف كل لقمة قذالية. يمر من خلالها وريد صغير من جيب دموى فى الدماغ.

داخليًا، يعرض العظم القذالى انطباعات تركتها الجيوب الوريدية الكبيرة التى تصرف الدم من الدماغ)انظر الشكل 8.5ب(. يمر أحد هذه الأخاديد على الخط الوسيط. قبل الوصول إلى الثقبة العظمى، يتفرع إلى أخاديد يمينية ويسارية تلتف حول العظم القذالى كالأذرع الممدودة قبل أن تنتهى عند الثقبتين الوداجيتين. الجيوب الوريدية التى تشغل هذه الأخاديد موصوفة فى الفصل 20.

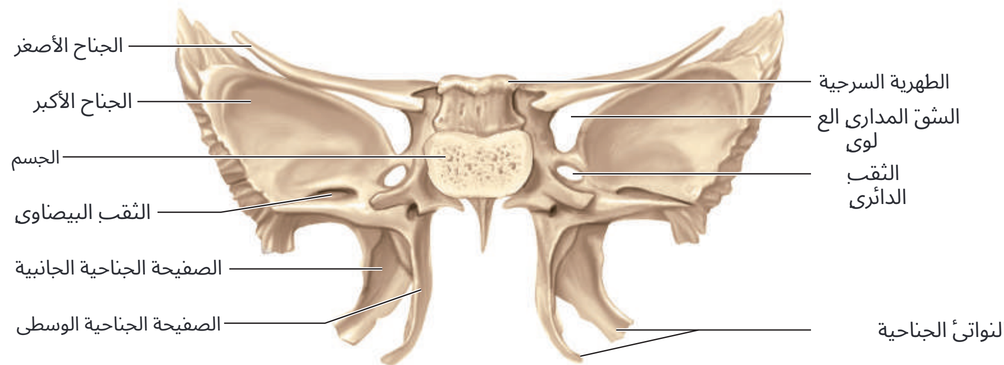
يمكن تحسس ميزات أخرى من العظم القذالى على الجزء الخلفى من رأسك. أحدها نتوء وسطى بارز يسمى الناتئ القذالى الخارجى— وهو موضع ارتباط الرباط القفوى)NEW-kul[14]، الذى يربط الجمجمة بالعمود الفقرى. يمكن تتبع حافة، الخط القفوى العلوى، أفقيًا

[13] *هيبو* = تحت؛ *جلوص* = اللسان
[14] *نوخا* = مؤخرة العنق

[15] *سفين* = إسفين؛ *أيد* = يشبه









الشكل 8.12 العظم الوتدى.)أ(منظر علوى.)ب(منظر خلفى، كما لو كنت تنظر من خلف الرأس إلى الجمجمة المفتوحة.

و اللوحات الجناحية الجانبية [19] (TERR-ih-goyd) (انظر الشكل 8.5أ).
كل لوحة لها امتداد سفلى أضيق يسمى العملية الجناحية
. توفر هذه اللوحات والعمليات نقاط ارتكاز لبعض
عضلات الفك الموضحة فى الفصل 10.

العظم الغربالى

العظم الغربالى[20] (ETH-moyd) هو عظم جمجمة أمامى
يقع بين العينين (الأشكال 8.6 و 8.13) يساهم فى
الجدار الوسيط للحجاح، وسقف وجدران التجويف الأنفى، و
الحاجز الأنفى. إنه عظم مسامى ورقيق جدًا، وله ثلاثة
أجزاء رئيسية:

1. اللوحة الرأسية العمودية، وهى لوحة عظمية رفيعة وسطية تشكل الثلثين العلويين من الحاجز الأنفى (انظر الشكل 8.4ب). (الجزء السفلى يتكون من العظم المحراثى، الذى سيتم مناقشته لاحقًا.) يقسم الحاجز التجويف الأنفى إلى مساحات هو ائية يمينية ويسارية تسمى الحفر الأنفية (FOSS-ee). غالبًا ما يكون الحاجز منحنيًا، أو منحرفًا، نحو إحدى الحفر الأن فية أو الأخرى.
2. لوحة الغربالية[21] الأفقية (CRIB-rih-form)، التى تشكل س قف التجويف الأنفى. تحتوى هذه اللوحة على شفرة وسطية تسمى الحدبة المشطية[22] (GAL-eye)، وهى نقطة ارتكاز لل غشاء الجافى. على كل جانب من الحدبة توجد منطقة منخفضة ممتدة مثقبة بالعديد من الثقوب، وهى الثقوب الغربالية (ال شمية). يستقر زوج من البصيلات الشمية فى الدماغ، الم سؤولة عن حاسة الشم، فى هذه المناطق المنخفضة، وتسمح الثقوب بمرور الأعصاب الشمية من التجويف الأنفى إلى ال بصيلات.
3. اللابيرنث الإثمويدى هى كتل كبيرة على كل جانب من الص فيحة العمودية. سُميت بهذا الاسم لأنها تحتوى داخليًا على م تاهة من الفراغات الهوائية تُسمى خلايا الإثمويد. تشكل هذه الخ لايا معًا الجيوب الإثمويدية التى تم مناقشتها سابقًا. السطح ا لجانبى لكل لابيرنث هو صفيحة مدارية ناعمة ومقعرة قليلاً تُرى على الجدار الوسيط للحجاح (انظر الشكل 8.15). السطح ا لوسيط لكل لابيرنث يُنتج لوحين عظميين ملتفين يشبهان الل فائف يُطلق عليهما القرون الأنفية العلوية والوسطى (CON-ke e). هذه القرون تبرز إلى التجويف الأنفى من ا لجدران الجانبية باتجاه الحاجز الأنفى (انظر الأشكال 8.6 و 8.14). هناك أيضًا عظمة منفصلة فى كل تجويف، وهى القرن الأنف ى السفلى، التى سيتم مناقشتها لاحقًا. تشغل القرون معظم ا لتجويف الأنفى، مما يترك مساحة مفتوحة قليلة. من خلال م لء الفراغ وخلق اضطراب فى تدفق الهواء المستنشق، تضمن ه ذه القرون أن يلامس الهواء الأغشية المخاطية التى تغطى هذه ا لعظام، والتى تقوم بتنقية الهواء وترطيبه وتدفئته قبل وصوله إ لى الرئتين.القرن الأنفى العلوى والجزء المجاور من الحاجز الأنفى يحملان أيضًا خلايا الإحساس بالرائحة.

الموضع العميق لعظمة الإثمويد يجعل معظمها صعب الرؤية عل ى الجمجمة السليمة. يمكن رؤية الصفيحة العمودية والقرن الأنفى الأ وسط من خلال النظر داخل التجويف الأنفى.

[19] جناحى = جناح؛ شبيه = يشبه
[20] غربالى = منخل، مصفاة؛ شبيه = يشبه
[21] غربالى = منخل؛ شكل = على شكل
[22] كريستا = التل؛ جالى = ديك
[23] كونشا = صدفة (حلزون بحرى كبير)

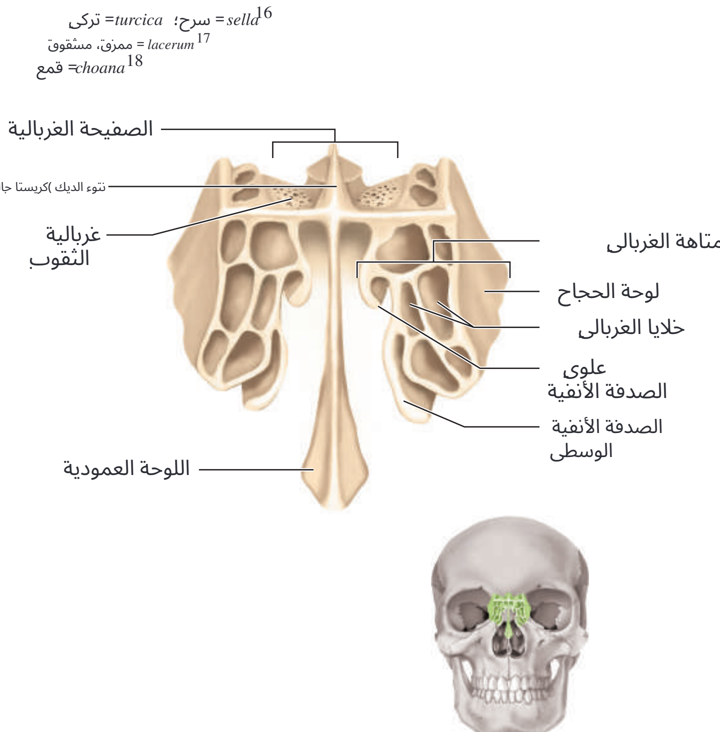
الشريان (انظر الشكل 8.15). فى الأعلى، يظهر زوج من الأشواك العظ مية للجناح الأصغر يسمى النتوءات الأمامية الكلينية وكأنها تحرس ال ثقوب البصرية. الشق المدارى العلوى، وهو شق فى الجدار الخلفى لل مدار، يميل إلى الأعلى جانبياً بالنسبة للقناة البصرية. ويعمل كممر لث لاثة أعصاب تزود عضلات حركة العين.
جسم عظم الوتد (الشكل 8.12ب) يحتوى على زوج من الجيوب الوتدية وله سطح يشبه السرج يسمى السرج التركى[16] (SEL-la TUR-sih-ca). يتكون السرج من حفرة عميقة تسمى الحفرة النخ امية، التى تضم الغدة النخامية (الغدة تحت المهاد)؛ وحافة أمامية مر تفعة تسمى النتوء السرجية (too-BUR-cu-lum SEL-lee)؛ وحافة خ لفية تسمى الظهرية السرجية. فى الحياة، تمتد الأم الجافية فوق السر ج التركى وترتبط بالنتوءات الأمامية الكلينية. يخترق ساق الغدة الأم ا لجافية ليربط الغدة النخامية بأساس الدماغ.

جانبيًا للسرج التركى، تخترقه الأجنحة الكبرى عدة ثقوب (انظر ال شكل 8.5أ). الثقب المدور والثقب البيضاوى (oh-VAY-lee) هما ممر ان لفرعين من العصب الثلاثى التوائم. الثقب الشوكى، الذى يبلغ قطر ه تقريبًا قطر رصاص القلم، يوفر ممرًا لشريان من أغشية الدماغ.

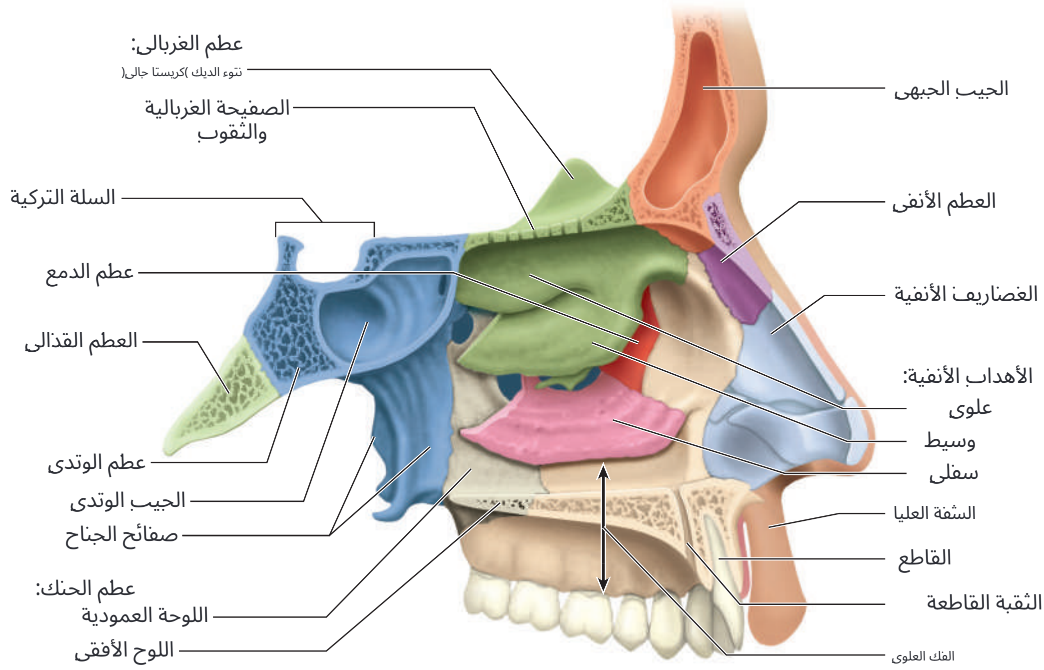
شق غير منتظم يسمى الثقب الممزق[17] (LASS-eh-rum) يحدث ع ند التقاء عظام الوتد، الصدغى، والقذالى. وهو مملوء بالغضروف فى ا لحياة ولا ينقل أوعية دموية أو أعصاب رئيسية.

فى منظر سفلى للجمجمة، يمكن رؤية العظم الوتدى (الاسفينويد) مباشرة أمام الجزء القاعدى من العظم القذالى. الفتحات الداخلية ل تجويف الأنف التى تُرى هنا تُسمى الفتحات الأنفية الخلفية، أو الحُيَّان (choanae) (كو-آه-نى). على الجانب الجانبي لكل فتحة ، يظهر العظم الوتدى زوجًا من الألواح المتوازية — اللوح الأوسط

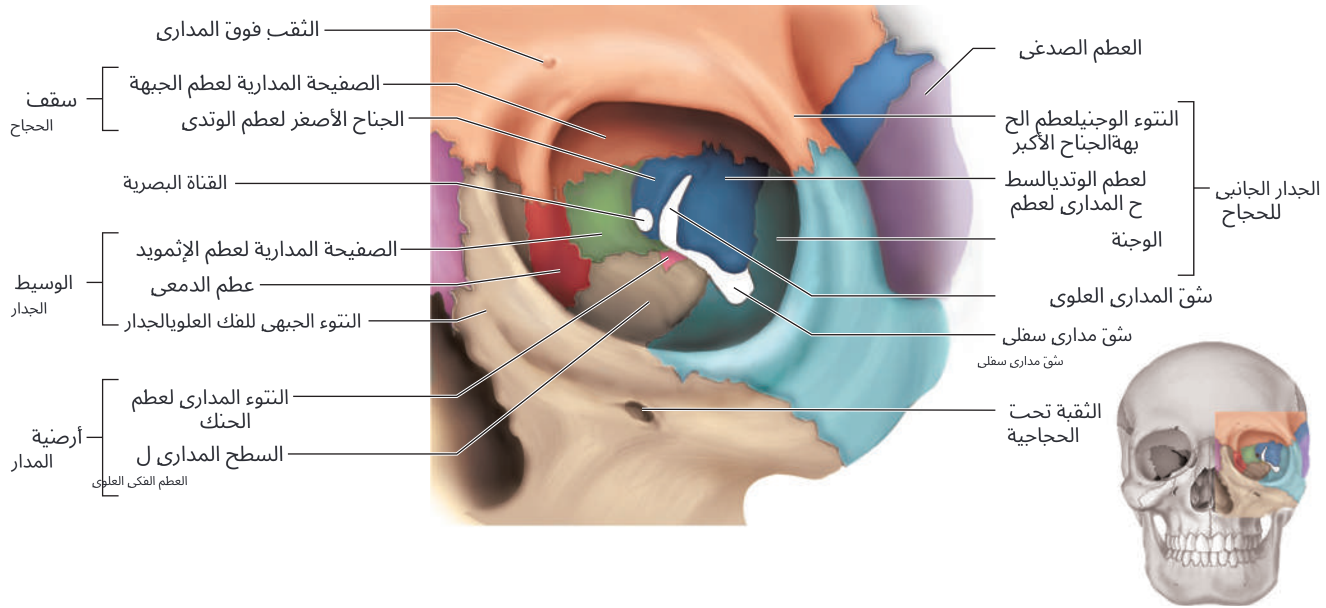
[16] *sella* = سرج؛ *turcica* = تركى
[17] *lacerum* = ممزق، مشقوق
[18] *choana* = قمع



APR الشكل 8.13 عظمة الإثمويد (منظر أمامى).
اذكر خمس عظام تتصل بعظمة الإثمويد.



APR الشكل 8.14 التجويف الأنفى الأيسر، مقطع سهمى مع إزالة الحاجز الأنفى.



APR الشكل 8.15 المدار الأيسر)منظر أمامى(.

)انظر الشكل 8.3(؛ الصفيحة المدارية بالنظر إلى الجدار الوسيط ل لحجاج)الشكل 8.15(؛ والنتوء المشط وخلايا الغربال من داخل التجويف القحفى)انظر الشكل 8.5ب(.

8.2ب العطام الوجهية

العطام الوجهية لا تحيط بالدماغ ولكنها تقع أمام التجويف القحفى)انظر الشكل 8.9(. تدعم التجاويف المدارية والأنفية والفموية،

تشكل الوجه، وتوفر نقاط ارتكاز لعضلات التعبير الوجهى والمضغ. هناك 14 عطمة وجهية:

- ٢ عطم الأنف
- ٢ عطم الفك العلوى
- ٢ قرون أنفية سفلية
- ٢ عطم الحنك
- ١ عطم المحراث)فومر(
- ٢ عطم الوجنة
- ١ عطم الفك السفلى
- ٢ عطم الدمعى

تجويفى الفم والأنف)انظر الشكل 8.5أ(. يتميز كل منها بـ
ثقب الحنكى الأكبر الكبير، وهو ممر عصبى إلى الحنك.
الصفيحة العمودية هى صفيحة رقيقة، دقيقة، وغير منتظمة الشكل
تشكل جزءًا من جدار بين تجويف الأنف و

الحجاج.

العظام الوجنية

تشكل العظام الوجنية24، المعروفة شعبياً بعظام الخد، زوايا الخدين
عند الحواف السفلية الجانبية للحجاج وجزءًا من الجدار الجانبى لكل ح
جاج؛ وتمتد حتى منتصف الطريق تقريبًا إلى الأذن)انظر الأشكال 8.4أ
، 8.5أ، و8.15(. لكل عظمة وجنية شكل T مقلوب وعادةً ما تحتوى ع
لى ثقب صغير زيجوماتوفاسيال (ZY-go-MAT-ih-co-FAY-shul)
بالقرب من تقاطع الساق والعارضة فى T. يمر عبر هذا الثقب عصب
يزود الجلد على بروز الخد. القوس الوجنى البارز الذى يتسع من كل جا
نب من الجمجمة يتكون بشكل رئيسى من أجزاء من العظمة الوجنية،
العظمة الصدغية، والفك العلوى)انظر الشكل 8.4أ(.

العظام الدمعية

تشكل العظام الدمعية25 جزءًا من الجدار الوسيط لكل حجاج)الشكل
8.15(. وهى أصغر عظام الجمجمة، بحجم طرف الإصبع الصغير تقريبًا.
يحتوى هذا العظم على تجويف يؤوى كيس الدمع الغشائى فى الحياة.
تتجمع الدموع من العين فى هذا الكيس وتصب فى تجويف الأنف.

العظام الأنفية

تشكل عظمتان أنفيتان صغيرتان مستطيلتان جسر الأنف)انظر الش
كل 8.3(وتدعمان الغضاريف التى تشكل الجزء السفلى منه. إذا لمس
ت الجسر، يمكنك بسهولة أن تشعر بنهاية العظام الأنفية وبداية الغ
ضاريف. غالبًا ما تتعرض العظام الأنفية للكسر نتيجة الضربات على ا
لأنف.

الأهداب الأنفية السفلية

هناك ثلاث قواقع فى كل تجويف أنفى. القوقع العلوى والوسيط، كما
نوقش سابقًا، هما جزء من عظم الغربال)الإيثمويد(.
الصدفة الأنفية السفلية— الأكبر من بين الثلاثة — هى عظمة منفصلة)
الشكل 8.14(.

العظم المحراثى)Vomer(

يشكل العظم المحراثى الجزء السفلى من ثلث الحاجز الأنفى العظمى
)انظر الأشكال 8.3 و8.4ب(. اسمه يعنى حرفيًا "نصل المحراث"، وهو
يشير إلى تشابهه مع شفرة المحراث. الثلثان العلويان من الحاجز يتكو
نان من الصفيحة العمودية للعظم الغربالى)الإيثمويد(، كما ذُكر سابقًا.
يدعم العظم المحراثى والصفيحة العمودية جدارًا من غضروف الحاجز
الذى يشكل معظم الجزء الأمامى من الحاجز.

[24] *zygo* = الانضمام، الاتحاد
[25] *lacrim* = دمعة، البكاء

العظم الفكى العلوى

العظم العلوى)mac-SILL-ee(هو أكبر عظام الوجه. يشكل الفك العلو
ى ويلتقى مع بعضه البعض عند درز العظم العلوى الوسيط فى منت
صف الحنك)انظر الأشكال 8.3، 8.4a، و8.5a(. تنمو نقاط صغيرة م
ن عظم الفك العلوى تُسمى النتوءات السنخية فى الفراغات بين قواع
د الأسنان. يتم إدخال جذر كل سن فى تجويف عميق، أو السنخ.

إذا فقد السن أو تم خلعه بحيث لم يعد المضغ يضغط على الفك العلو
ى، فإن النتوءات السنخية تُمتص ويملأ السنخ بعظم جديد، مما يترك
منطقة ناعمة على الفك العلوى.

على الرغم من أنها محفوظة مع الجمجمة، فإن الأسنان ليست ع
ظامًا. يتم مناقشتها بالتفصيل فى الفصل 25.

▶▶▶ طبق ما تعرفه

افترض أنك تدرس جمجمة بها بعض الأسنان مفقودة. كيف يم
كنك معرفة ما إذا كانت الأسنان قد فقدت بعد وفاة الشخص أو
قبل سنوات من ذلك؟

يمتد كل فك علوى من الأسنان إلى الجدار السفلى الوسيط للحجا
ج. أسفل الحجاج مباشرة، يظهر الثقب تحت الحجاجى، الذى يوفر مم
رًا للأوعية الدموية إلى الوجه وعصبًا يستقبل الإحساس من منطقة الأ
نف والخد.
يخرج هذا العصب من خلال الثقب المدور إلى التجويف القحفى. يش
كل الفك العلوى جزءًا من أرضية الحجاج، حيث يلتقى بعظام الوتدى و
الوجنى لتشكيل شق يسمى الشق الحجاجى السفلى، الذى يميل إلى
الأسفل والجانب)الشكل 8.15(. يشكل الشقان الحجاجيان السفلى وا
لعليا شكل V جانبى، يقع رأسه بالقرب من القناة البصرية. الشق الحج
اجى السفلى هو ممر للأوعية الدموية والأعصاب الحسية من الوجه.

يشكل الحنك سقف الفم وأرضية التجويف الأنفى. وظيفته هى
فصل التجويف الأنفى عن التجويف الفمى، مما يمكننا)ومخلوقات أ
خرى من الثدييات(من الاستمرار فى التنفس أثناء المضغ. يتطلب م
عدل الأيض العالى لدى البشر هضمًا سريعًا للطعام، مما يساعد عليه ا
لمضغ المطول والشامل إلى جزيئات صغيرة يسهل هضمها. سيكون
ذلك صعبًا إذا تطلب هذا المضغ المطول انقطاع تدفق الهواء.

يتكون الحنك من الحنك الصلب العظمى فى الأمام و الحنك الر
خو اللحمى فى الخلف. يشكل معظم الحنك الصلب امتدادات أفقية
من الفك العلوى تُسمى النتوءات الحنكية)PAL-uh-tine( )انظر ال
شكل 8.5a(. خلف القواطع)الأسنان الأمامية(مباشرة يوجد حفرة و
سطية، الحفرة القاطعية، وهى ممر لشريان إلى الحنك وعصب إلى ا
لجزء السفلى من الحاجز الأنفى وستة أسنان أمامية من الفك العلوى.
يفتح زوج أو زوجان من الثقوب القاطعية عميقًا داخل هذه الحفرة)ال
شكل 8.14(لكنها صعبة الرؤية. عادةً ما تلتقى النتوءات الحنكية عند
درز العظم العلوى الوسيط حوالى الأسبوع 12 من الحمل. يؤدى الفش
ل فى الالتحام إلى حدوث شق الحنك)انظر نظرة أعمق 29.4(.

العظام الحنكية

العظام الحنكية لكل منها شكل ـليتكون من *صفيحة أفقية*
وصفيحة عمودية)الشكل 8.14(. تشكل الصفيحات الأفقية
ثلث الحنك الصلب الخلفى، مما يفصل بشكل إضافى بين

8.2ح العظام المرتبطة بالجمجمة

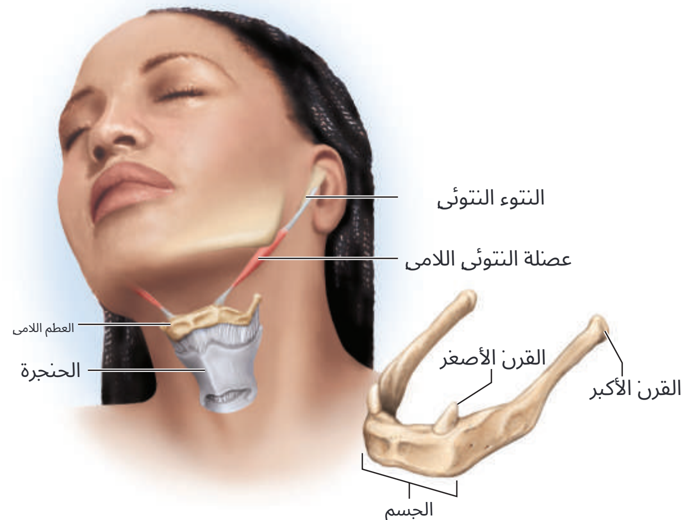
هناك سبعة عظام مرتبطة ارتباطًا وثيقًا بالجمجمة لكنها لا تُعتبر جزءًا منها. هذه هى العظمات السمعية الثلاث فى كل تجويف أذن وسطى والعظم اللامى تحت الذقن. العظمات السمعية26—المسماة المطرقة)مطرقة(، السندان)سندان(، و الركاب)STAY-peez( )ركاب(— تمت مناقشتها فى سياق السمع فى الفصل 16.

العظم اللامى[27] هو عظم رفيع على شكل U بين الذقن والحنجرة)الشكل 8.17(. وهو واحد من العظام القليلة التى لا تتصل بأى عظم آخر. يتم تعليقه من النتوءات النتوئية للجمجمة، بشكل يشبه الأرجوحة، بواسطة العضلات الصغيرة النتوئية اللامية *والأربطة* النتوئية اللامية. *الجسم المتوسط* للعظم اللامى محاط من كلا الجانبين بزوائد تشبه القرون تسمى القرون الأكبر و القرون الأصغر)قرون(. الحنجرة)صندوق الصوت(معلقة من العظم اللامى بواسطة رباط عريض، ويعمل العظم اللامى كمكان لارتكاز عدة عضلات تتحكم فى الفك السفلى، واللسان، والحنجرة. يبحث أطباء الطب الشرعى عن كسر فى العظم اللامى كدليل على الخنق.

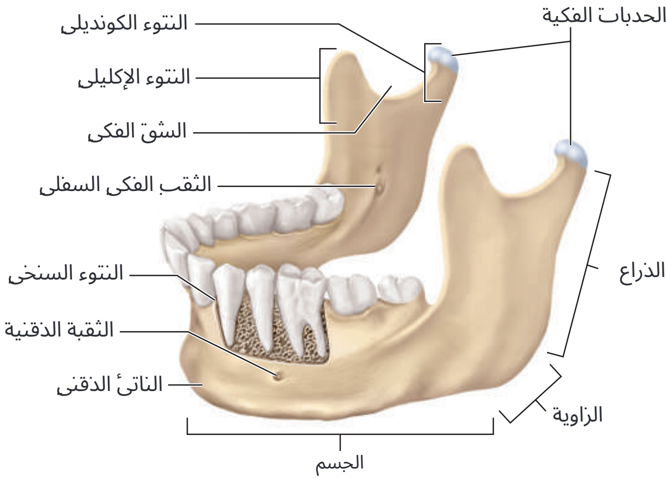
8.2د الجمجمة فى مرحلة الرضاعة والطفولة

رأس الرضيع لا يمكن أن يمر عبر مخرج حوض الأم عند الولادة لولا أن عظام جمجمته لم تلتحم بعد. قد يسبب تحرك عظام الجمجمة أثناء الولادة ظهور رأس الرضيع بشكل مشوه، لكنه سرعان ما يستعيد شكله الطبيعى. الفراغات بين العظام غير الملتحمة تسمى اليافوخات،[28] نسبةً إلى حقيقة أن نبض دم الرضيع يمكن الشعور به هناك. ترتبط العظام فى هذه النقاط فقط بأغشية ليفية، حيث تكتمل عملية التنسج العظمى داخل الغشاء لاحقًا)انظر الشكل 7.10(. أربعة من هذه المواقع بارزة ومنتظمة فى الموقع بشكل خاص: اليافوخ الأمامى، الخلفى، اليافوخ الوتدى)الأمامى الجانبى(، و

[26] os = عظم؛ icle = صغير
[27] hy = الحرف U؛ oid = يشبه
[28] fontan = نافورة؛ elle = صغير



الشكل 8.17 العظم اللامى.



APR الشكل 8.16 الفك السفلى.

العظم الفك السفلى

العظم الفك السفلى)الشكل 8.16(هو أقوى عظمة فى الجمجمة والوحيد الذى يمكنه التحرك بشكل كبير. يدعم الأسنان السفلية ويوفر موضعًا لارتباط عضلات المضغ والتعبير الوجهى. الجزء الأفقى الذى يحمل الأسنان يسمى الجسم؛ والجزء الخلفى الرأسى المائل يسمى الذراع)RAY-mus( )الجمع، *الأذرع*(؛ ويلتقى هذان الجزان عند زاوية تسمى الزاوية. يتطور الفك السفلى كعظمتين منفصلتين يمينًا ويسارًا فى الجنين، متصلتين بمفصل غضروفى وسطى يسمى الارتفاق الذقنى)SIM-fih-sis(عند نقطة الذقن. يتصلب هذا المفصل فى الطفولة المبكرة، موحدًا النصفين فى عظمة واحدة.

نقطة الذقن نفسها تسمى الناتئ الذقنى. السطح الداخلى)الخلفى(للفك السفلى فى هذه المنطقة يحتوى على زوج من النقاط الصغيرة، الأشواك الذقنية، التى تخدم كمواقع لارتباط بعض عضلات الذقن)انظر الشكل 8.4ب(.
على السطح الأمامى الجانبى للجسم، يسمح الثقبة الذقنية بمرور الأعصاب والأوعية الدموية للذقن. يحتوى السطح الداخلى للجسم على عدد من التجاويف الضحلة والنتوءات لاستيعاب العضلات والغدد اللعابية. يحتوى زاوية الفك السفلى على سطح جانبى خشن لإدخال عضلة الماضغة، وهى عضلة من عضلات المضغ. مثل الفك العلوى، يحتوى الفك السفلى على نتوءات سنخية مدببة بين الأسنان.

الذراع يشبه إلى حد ما الشكل Y. فرعه الخلفى، المسمى النتوء الكونديلى)CON-dih-lur(، يحمل الحدبة الفكية — وهى عقدة بيضاوية تتصل بالحفرة الفكية لعظم الصدغى. يشكل التقاء هذه الحدبة مع العظم الصدغى مفصلًا مفصليًا، وهو المفصل الصدغى الفكى)TMJ(.

الفرع الأمامى للذراع هو شفرة تسمى النتوء الإكليلى. وهو نقطة إدخال لعضلة الصدغى، التى تسحب الفك السفلى إلى الأعلى عند العض. القوس على شكل حرف U بين النتوئين هو الشق الفكى. أسفل الشق، على السطح الوسيط للذراع، توجد الثقبة الفكية. تدخل الأعصاب والأوعية الدموية التى تغذى الأسنان السفلية هذه الثقبة ثم تسير عبر عظم جسم الفك السفلى، مطلقة فروعًا لكل سن على طول الطريق. عادةً ما يقوم أطباء الأسنان بحقن الليدوكائين بالقرب من الثقبة الفكية لتخدير الإحساس من الأسنان السفلية.

فاصل ميتوبى[29] مستمر فى كثير من الناس، مع اختلافات بين المجم وعات العرقية. هناك نسبة عالية جدًا فى الهند ونيجيريا، على سبيل ا لمثال، وهى أكثر شيوعًا بمرتين فى الإناث الأمريكيات مقارنة بالذكور.

وجه المولود الجديد مسطح والجمجمة كبيرة نسبيًا.
لتلبية احتياجات الدماغ النامى، ينمو الجمجمة بسرعة أكبر من بقية ال هيكل العظمى خلال الطفولة. تصل إلى حوالى نصف حجمها البالغ ع ند عمر 9 أشهر، وثلاثة أرباع الحجم عند عمر سنتين، وحجمها النهائى تقريبًا عند عمر 8 أو 9 سنوات. لذلك، تكون رؤوس الأطفال والرضع أ كبر بكثير نسبةً إلى الجذع مقارنةً برؤوس البالغين — وهى خاصية ي ستغلها رسامو الكرتون والمعلنون الذين يرسمون شخصيات ذات رؤو س كبيرة لإضفاء مظهر أكثر جاذبية أو طفولية. فى البشر والحيوانات ا لأخرى، يُعتقد أن الرؤوس الكبيرة والمستديرة للصغار تعزز البقاء من خلال تحفيز غريزة الرعاية الأبوية.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

4. سمِّ الجيوب الأنفية حول الأنف واذكر مواقعها. سمِّ أى أربع تجاويف أ خرى فى الجمجمة.
5. اشرح الفرق بين عظم الجمجمة وعظم الوجه. أعطِ أربعة أمثلة لكل م نهما.
6. ارسم بيضاويًا يمثل منظرًا علويًا للكالفاريا (غطاء الجمجمة). ارسم خطوطًا تمثل الدروز التاجى (الكورونال)، واللامبدى (اللامبدويد)، والس همى (الساجيتال). ضع تسميات للأربعة عظام التى تفصلها هذه الدروز.
7. اذكر أى عظم يحتوى على كل من هذه الميزات: الجزء القشرى (ال سكواموس)، القناة تحت اللسانية، القرن الأكبر، الجناح الأكبر، النتوء ا لكونديلى، والصفيحة الغربالية.
8. حدد أى من الهياكل التالية لا يمكن عادةً جسها على شخص حى: ال نتوء الخشائى، التاج الريشى (كريستا جالى)، الشق المدارى العلوى ، العمليات الحنكية، العظم الوجنى، النتوء الذقنى، والركاب. قد تج د من المفيد جس بعضها على جمجمتك الخاصة أثناء محاولتك للإجا بة.

8.3 العمود الفقرى والقفص الص درى

نتائج التعلم المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف الخصائص العامة للعمود الفقرى وتلك الخاصة بالفقرات ا لنموذجية؛
ب. وصف تركيب الأقراص بين الفقرات وعلاقتها بالفقرات؛
ج. وصف الخصائص الخاصة للفقرات فى مناطق مختلفة من ا لعمود الفقرى، ومناقشة الأهمية الوظيفية للاختلافات ا لإقليمية؛ و
d. وصف تشريح عظم القص والأضلاع وكيفية تَفَصُّل الأضلاع مع ا لفقرات الصدرية.

[29] مِتَ = ما بعد؛ عيون = العيون

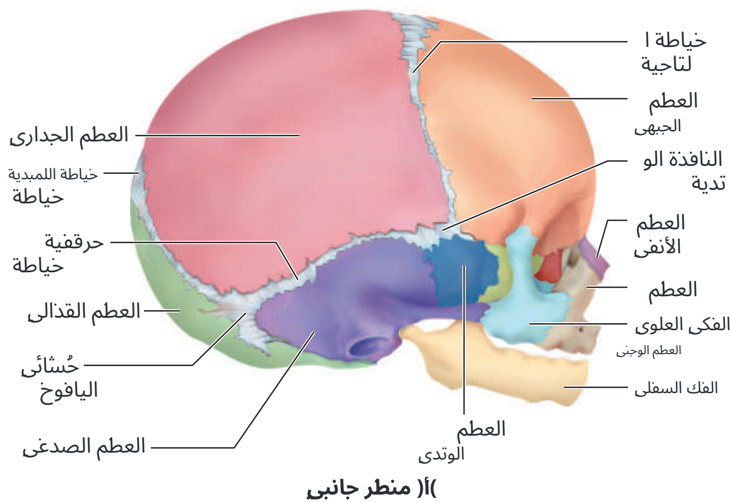
نظرة أعمق 8.1

التطبيق السريرى

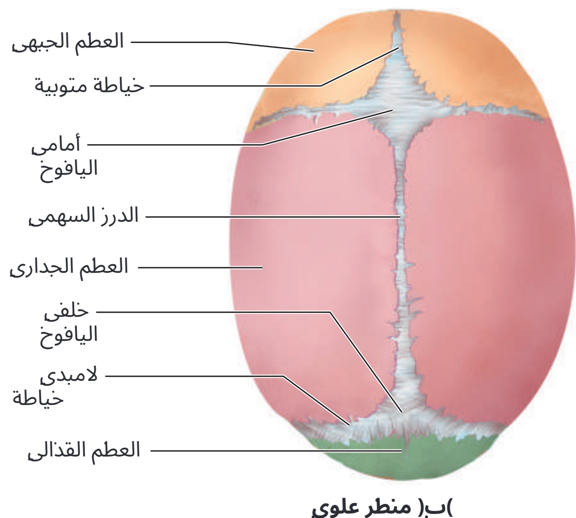
التقييم القحفى للمواليد الجدد

يقوم ممرضو التوليد عادةً بتقييم اليافوخات عند المواليد الجدد عن طريق الجس. فى حالة الولادة الصعبة، قد يتداخل عظم قحفى واحد فوق آخر على طول خط الخ ياطة، مما يستدعى مراقبة دقيقة للرضيع. قد تشير الخياطة الواسعة بشكل غير ط بيعى إلى استسقاء الرأس، وهو تراكم كميات مفرطة من السائل الدماغى الشوكى، مما يسبب تورم القحف.
تشير اليافوخات المنتفخة إلى ارتفاع غير طبيعى فى الضغط داخل القحف، بينما تدل اليافوخات الغائرة على الجفاف.

اليافوخ الخشائى (الخلفى الجانبى) (الشكل 8.18). معظم اليافوخات تتعطل بحلول عمر السنة، لكن أكبرها — اليافوخ الأمامى — يمكن ال شعور به حتى 18 إلى 24 شهرًا بعد الولادة.
عظم الجبهة والفك السفلى هما عظام منفصلة يمينًا ويسارًا عند الو لادة، لكنهما يلتحمان فى المنتصف فى الطفولة المبكرة. عادةً ما تلتحم عظام الجبهة بحلول عمر 5 أو 6 سنوات، لكنها تبقى منفصلة بواسطة



(أ) منظر جانبى



(ب) منظر علوى

الشكل 8.18 جمجمة الجنين قرب وقت الولادة. (أ) منظر جانبى. (ب) منظر ع لوى للكالفاريا.

8.3أ الميزات العامة ل العمود الفقرى

العمود الفقرى)العمود الفقرى(يدعم جسديًا الجمجمة والجذع، يسمح بحركتهما، يحمى الحبل الشوكى، ويمتص الضغوط الناتجة عن المشى والجرى والرفع. كما يوفر نقاط تثبيت لأحزمة الأطراف، والقفص الصدرى، وعضلات الوضعية. على الرغم من أنه يُطلق عليه عادةً اسم العمود الفقرى، إلا أنه لا يتكون من عظم واحد بل من سلسلة مرنة تتكون عادةً من 33 فقرة مع أقراص بين الفقرات من الغضروف الليفى بين معظمها.

يبلغ متوسط طول العمود الفقرى البالغ حوالى 71 سم)28 بوصة(، مع احتساب الأقراص بين الفقرات حوالى ربع الطول. معظم الناس يكونون أقصر بحوالى 1% عندما يذهبون إلى الفراش ليلاً مقارنةً عندما يستيقظون صباحًا. وذلك لأن وزن الجسم خلال النهار يضغط على الأقراص بين الفقرات ويعصر الماء منها. وعندما ينام الإنسان، مع رفع الوزن عن العمود الفقرى، تعيد الأقراص امتصاص الماء وتنتفخ.

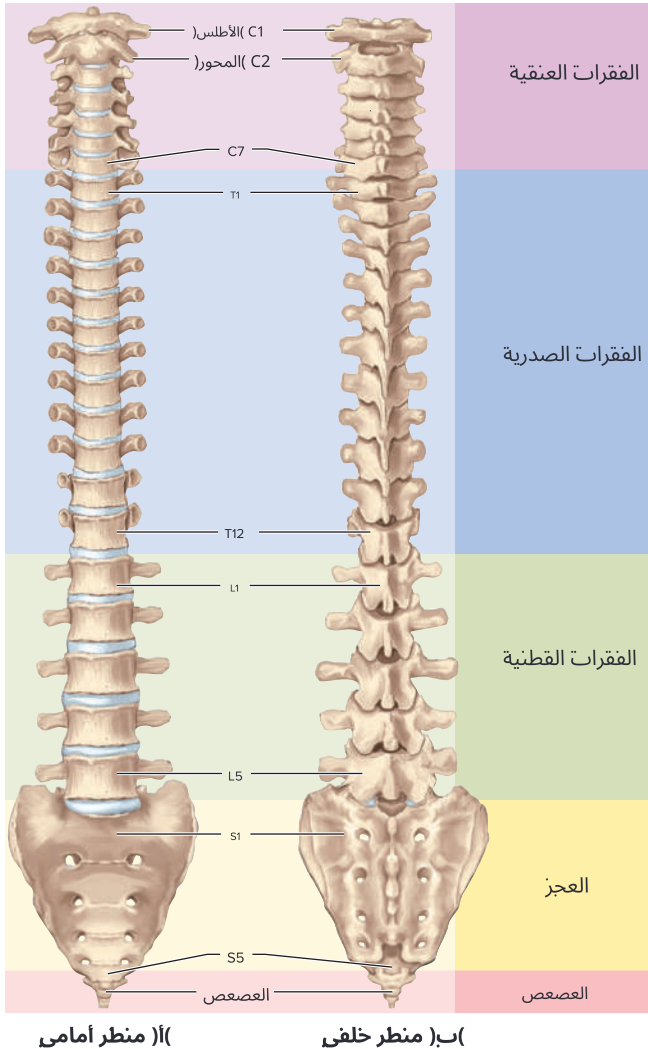
كما هو موضح فى الشكل 8.19، تنقسم الفقرات إلى خمس مجموعات، عادةً ما تكون 7 *فقرات عنقية*)سير-فى-كال(فى الرقبة، 12 فقرة صدرية فى الصدر، 5 فقرات قطنية فى أسفل الظهر، 5 فقرات عجزية فى قاعدة العمود الفقرى، وحتى 5)عادة 4(فقرات عصعصية صغيرة)كوكسيدج-يول(.

لمساعدة على تذكر أعداد الفقرات العنقية والصدرية والقطنية—7، 12، و5—فكر فى يوم عمل نموذجى: اذهب إلى العمل فى الساعة 7، تناول الغداء فى الساعة 12، وارجع إلى المنزل فى الساعة 5. جميع الثدييات لديها 7 فقرات عنقية، حتى فى أعناق الزرافات الطويلة الشهيرة.

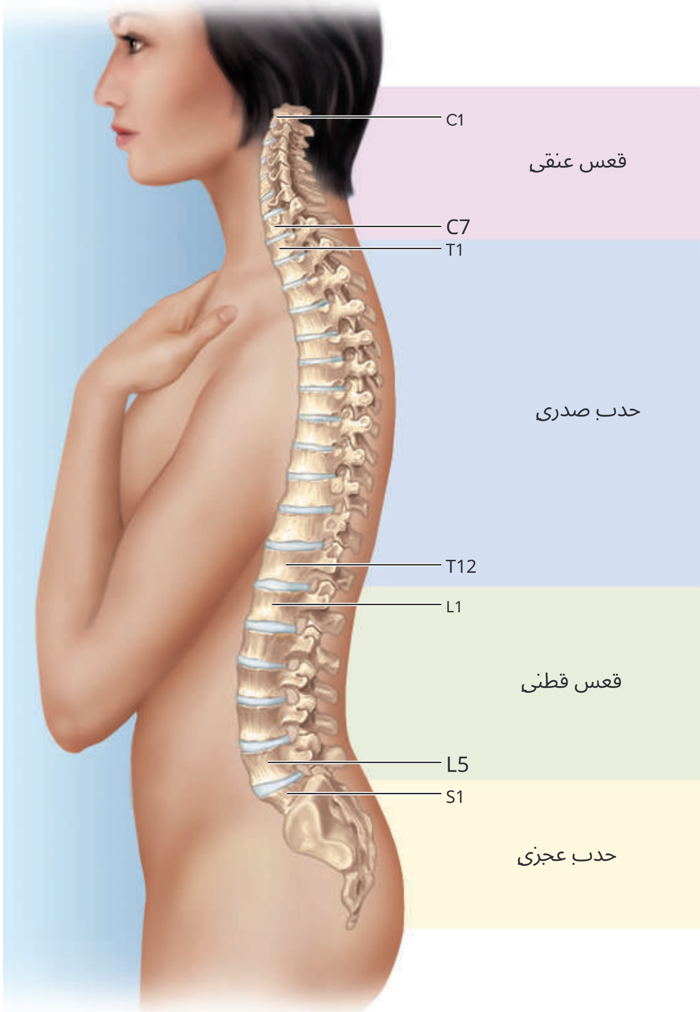
تحدث تغييرات فى هذا الترتيب فى حوالى شخص واحد من كل 20. على سبيل المثال، أحيانًا يتم دمج الفقرة القطنية الأخيرة فى العجز، مما ينتج عنه أربع فقرات قطنية وست فقرات عجزية. فى حالات أخرى، تفشل الفقرة العجزية الأولى فى الالتحام مع الثانية، مما ينتج عنه ست فقرات قطنية وأربع فقرات عجزية. أما الفقرات العنقية والصدرية فهى أكثر ثباتًا فى العدد.

بعد سن الثالثة، يحتوى العمود الفقرى على أربعة انحناءات تعطيه شكلًا متموجًا على شكل حرف S)الشكل 8.20(. الانحناء الذى يكون مقعرًا فى الاتجاه الأمامى)منحنيًا للخارج نحو الظهر(يسمى تقوسًا.[30] هناك اثنان من هذه، وهما التقوس الصدرى و التقوس العجزى. الانحناء نحو الأمام، المقعر

[30] *كيفو* = معوج، منحنى؛ *أوزيس* = حالة



الشكل 8.19 العمود الفقرى.)أ(منظر أمامى.)ب(منظر خلفى. APR



الشكل 8.20 انحناءات العمود الفقرى لدى البالغين.

الانحناء الخلفى يسمى اللوردوز[31] وهناك نوعان منه— *اللوردوز العنقى* و *اللوردوز القطنى*. هذه الانحناءات غير موجودة عند الوليد، الذى يظهر عموده الفقرى منحنى على شكل حرف C مستمر، كما هو الحال فى القرود، والشمبانزى، ومعطم الحيوانات ذات الأربع أرجل)الشكل 8.21(. عندما يبدأ الرضيع فى الزحف ورفع رأسه، يصبح الجزء العنقى منحنيًا نحو الجانب الخلفى، مما يمكن الرضيع من النظر إلى الأعلى وهو مستلقٍ على بطنه. وعندما يبدأ الطفل فى المشى، يتطور انحناء آخر فى نفس الاتجاه فى المنطقة القطنية. الشكل الناتج على شكل حرف S يجعل المشى الثنائى القائم مستدامًا)انظر التعمق 8.4(. الانحناءات الصدرية والعجزية تُسمى *الانحناءات الأولية* لأنها موجودة منذ الولادة. أما اللوردوز العنقى والقطنى فتُسمى *الانحناءات الثانوية* لأنها تتطور لاحقًا، خلال السنوات الأولى من الزحف والمشى عند الطفل. الانحناءات الجانبية والأمامية غير الطبيعية هى من أكثر اضطرابات العمود الفقرى شيوعًا)انظر التعمق 8.2(.

8.3ب الهيكل العام للفقرات

تُظهر الشكل 8.23 فقرة نموذجية والقرص بين الفقرى. أكبر جزء فى الفقرة هو الجسم)المركز(— كتلة من العطم الإسفنجى ونخاع العطم الأحمر مغطاة بقشرة رقيقة من العطم القشرى المضغوط. هذا هو الجزء الحامل للوزن فى الفقرة. توفر أسطحه العلوية والسفلية الخشنة تثبيتًا قويًا للأقراص بين الفقرية.

[31] *lordo*= إلى الخلف؛ *osis*= حالة



الشكل 8.21 انحناء العمود الفقرى للرضيع الوليد. فى هذا العمر، يشكل العمود الفقرى منحنى واحد على شكل حرف C.

بوب كويل/ماكجرو هيل



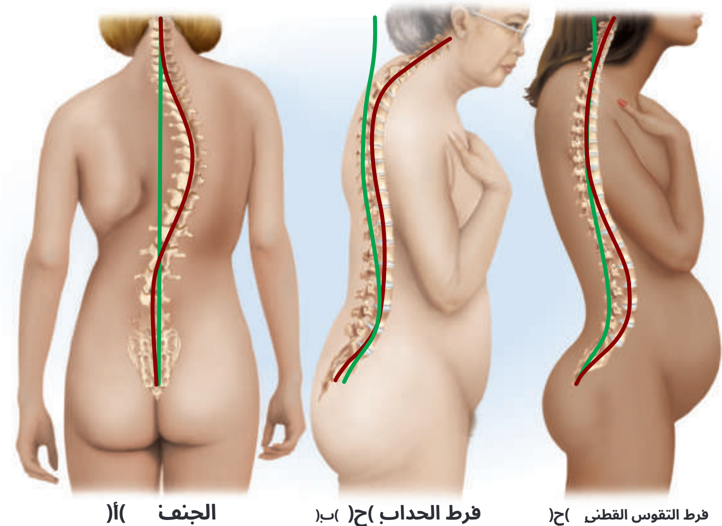
التعمق 8.2

التطبيق السريرى

انحناءات العمود الفقرى غير الطبيعية

يمكن أن تنتج انحناءات العمود الفقرى غير الطبيعية)الشكل 8.22(عن مرض، ضعف أو شلل عضلات الجذع، سوء الوضعية، الحمل، أو عيوب خلقية فى تشريح الفقرات. أكثر التشوهات شيوعًا هو انحناء جانبى غير طبيعى يُسمى الجنف.
يحدث غالبًا فى المنطقة الصدرية، خاصة بين الفتيات المراهقات. أحيانًا ينتج عن خلل تطورى حيث يفشل الجسم والقوس فى التطور على جانب واحد من الفقرة. إذا لم يكتمل نمو الهيكل العطمى للشخص بعد، يمكن تصحيح الجنف باستخدام دعامة ظهر.

انحناء صدرى مبالغ فيه يُسمى فرط الحداب عادةً ما يكون نتيجة لهشاشة العطام)انظر الشكل 7.21(، ولكنه يحدث أيضًا لدى الأشخاص المصابين بلين العطام أو السل الفقرى، وكذلك لدى المراهقين الذين يمارسون بشكل مكثف الرياضات التى تُحمّل العمود الفقرى مثل المصارعة ورفع الأثقال. انحناء قطنى مبالغ فيه يُسمى فرط القَسَط وقد يكون له نفس أسباب فرط الحداب، أو قد ينتج عن زيادة وزن البطن أثناء الحمل أو السمنة.





الشكل 8.22 انحناءات العمود الفقرى غير الطبيعية.)أ(الجنف.)ب(فرط الحداب.)ح(فرط التقوس القطنى.

عندما تلتقى فقرتان، يظهر فتحة على كل جانب بين نتوءاتهما تُ
سمىالثقب بين الفقرى.
تسمح هذه الثقوب بمرور الأعصاب الشوكية التى تتصل بالحبل الشو
كى على فترات منتظمة. يتكون كل ثقب من النتوء الفقرى السفلى
فى نتوء الفقرة العلوية والنتوء الفقرى العلوى فى نتوء الفقرة السفلية
)الشكل 8.25ب(.

8.3ح الأقراص بين الفقرات

القرص بين الفقرى هو وسادة غضروفية تقع بين أجسام فقرتين متجا
ورتين. يتكون من نواة هلامية داخلية النواة اللبية محاطة بحلقة من الغ
ضروف الليفى، الحلقة الليفية)انظر الشكل 8.23ب(. هناك 23 قرصًا
— الأول بين الفقرتين العنقيتين الثانية والثالثة)C2–C3(والأخير بين
الفقرة القطنية الأخيرة والعجز)L5–S1(. تساعد هذه الأقراص على ر
بط الفقرات المتجاورة معًا، ودعم وزن الجسم، والسماح بحركة العمود
الفقرى، وامتصاص الصدمات. يمكن أن تتمزق الأقراص بشكل مؤلم
عند تعرضها لإجهاد مفرط)انظر التعمق 8.3(.

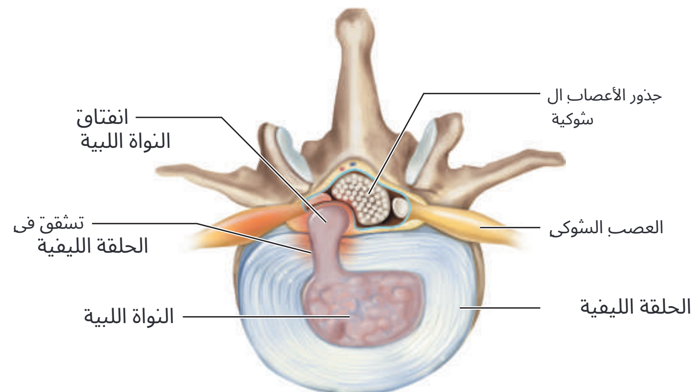


نظرة أعمق 8.3

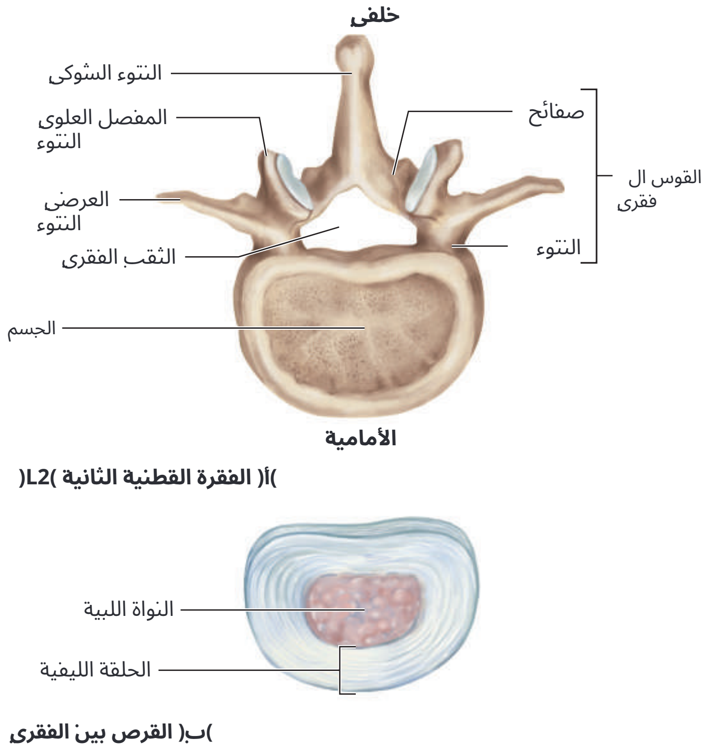
التطبيق السريرى

القرص المنفتق

الضغط على العمود الفقرى، كما فى رفع وزن ثقيل، يضغط على الأقراص بين ال
فقرات ويجعلها تنتفخ جانبياً. الضغط الزائد يمكن أن يتسبب فى تشقق الحلقة ال
ليفية، مما يسمح للنواة اللبية الهلامية بالتسرب)الشكل 8.24(. هذا ما يسمى
بالقرص المنفتق)بالعامية، "القرص الممزق"، أو بشكل أقل دقة، "القرص المنز
لق"(.
يحدث الانفتاق عادةً عند الزوايا الخلفية الجانبية للأقراص لأن الحلقة الليفية تكون
أرق على الجانب الخلفى والزوايا هى الأقل دعماً من الأربطة الشوكية المجاورة. حوا
لى 95% من الانفتاقات تكون عند مستوى L4–L5 أو L5–S1 لأن هذه المناطق تـ
تحمل أكبر وزن. نادراً ما يحدث انفتاق الأقراص عند الشباب بسبب أقراصهم الس
ميكة، المرنة والمُرطبة جيداً. الأقراص المنفتقة هى واحدة من أكثر أسباب آلام أس
فل الظهر شيوعاً، ناتجة عن الالتهاب الذى تحفزه النواة والضغط الناتج عن تسرب
النواة على جذور الأعصاب الشوكية التى تمر عبر هذه المساحة الضيقة. أكثر من 8
0% من المرضى يتعافون من الألم باستخدام مسكنات الألم فقط، دون الحاجة إلى
جراحة؛ ويشفى ما يصل إلى 76% من الحالات جزئياً أو كلياً خلال سنة واحدة.



الشكل 8.24 القرص المنفتق.



الشكل 8.23 فقرة نموذجية وقرص بين فقرى)منظر علوى(.)أ(فقرة نموذ
جية.)ب(قرص بين فقرى، موجه بنفس اتجاه جسم الفقرة فى الجزء)أ(للم
قارنة.

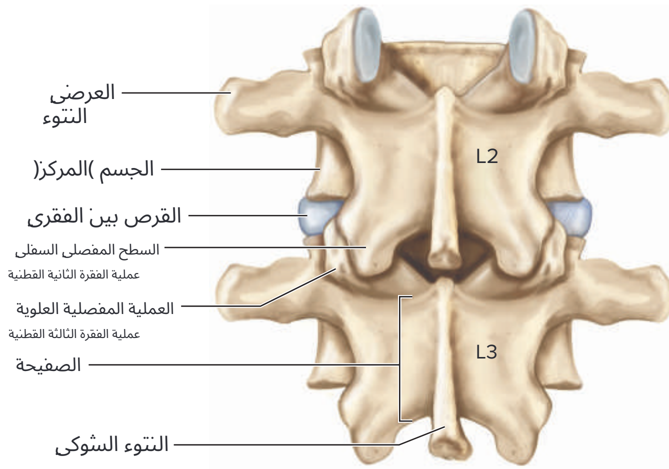
▶▶▶ طبق ما تعرفه

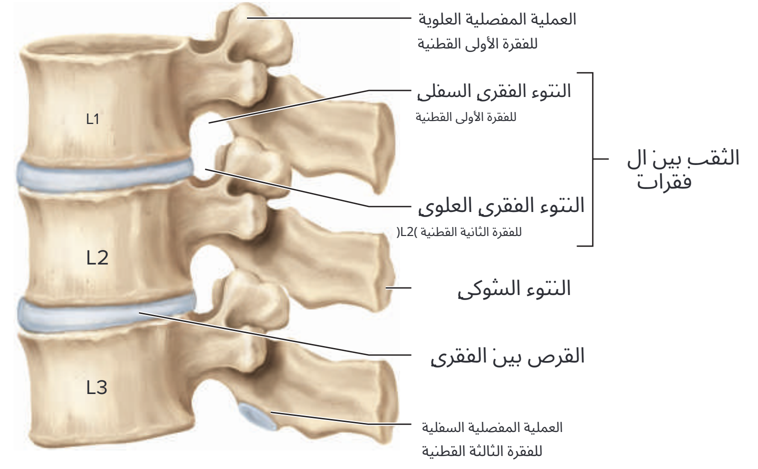
تزداد أجسام الفقرات والأقراص بين الفقرية تدريجياً فى الحجم
كلما نظرنا إلى أسفل العمود الفقرى. ما هى الأهمية الوظيفية له
ذا الاتجاه؟

ينشأ من الجانب الخلفى للجسم قوس فقرى عظمى vertebral
arch . يتكون هذا من جزأين على كل جانب: دعامة على شكل عمود
pedicle 32 \ وصفحة عظمية **lamina.**[33] تمتد من قمة القوس بروز ى
سمى **spinous process** موجه إلى الخلف والأسفل. يمكنك رؤية وشع
ور النتوءات الشوكية على شخص حى كصف من النتوءات على طول ا
لعمود الفقرى. يمتد **transverse process** جانبياً من النقطة التى يلتق
ى فيها الدعامة والصفحة العظمية. توفر النتوءات الشوكية والعرضية
نقاط ارتكاز للأربطة والأضلاع وعضلات العمود الفقرى.

زوج من **superior articular processes** يبرز إلى الأعلى من فقرة
واحدة ويلتقى بزوج مماثل من النتوءات المفصلية السفلية التى تبرز
إلى الأسفل من الفقرة العلوية)الشكل 8.25أ(. يحتوى كل نتوء على
سطح مفصلى مسطح)وجه(يواجه سطح الفقرة المجاورة. تقيد هذه ا
لنتوءات التواء العمود الفقرى، والذى قد يتسبب بخطر شديد على الح
بل الشوكى.
يحيط الجسم والقوس الفقرى بمساحة مثلثة تسمى **vertebral f**
oramen تشكل 29 فتحة فقارية معاً **vertebral canal** وهو ممر للح
بل الشوكى.

[32] قدم = قدم؛ *icle* = صغير
[33] صفحة = صفيحة





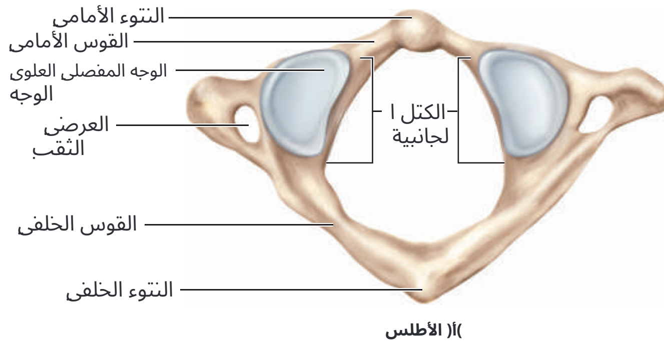
الشكل 8.25 الفقرات المترابطة.)أ(منظر خلفى.)ب(منظر جانبى أيسر.

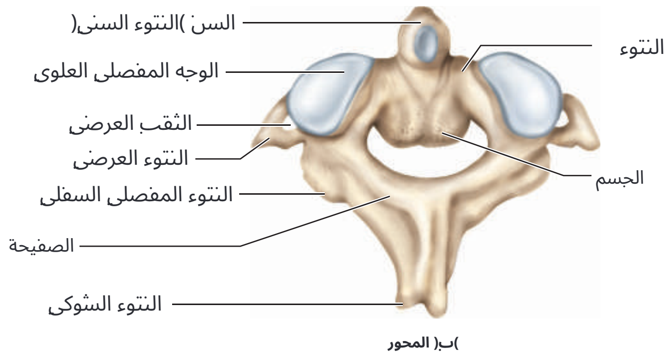
الفقرات العنقية

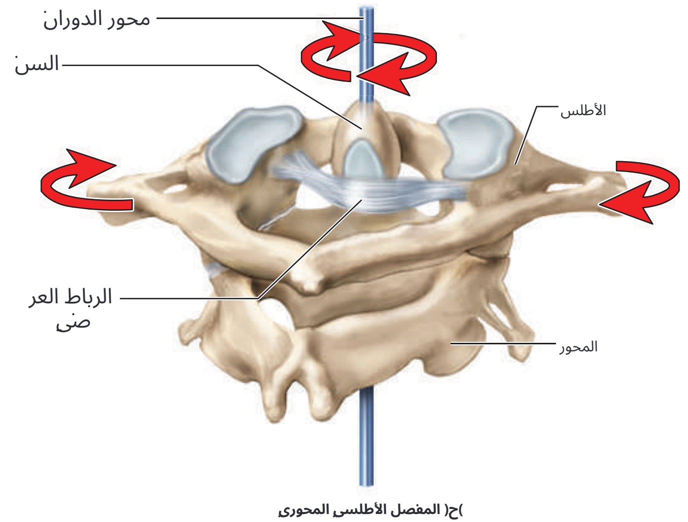
الفقرات العنقية)C1–C7(صغيرة نسبيًا. وظيفتها هى دعم الرأس وا لسماح بحركاته. الفقرتان الأوليان)C1 وC2(لهما تراكيب فريدة لهذا ا لغرض
)الشكل 8.26(. تُسمى الفقرة C1 الأطلس لأنها تدعم الرأس بطريقة تذكرنا بأطلس، العملاق فى الأساطير اليونانية الذى حُكم عليه من قبل زيوس بحمل السماوات

8.3د الخصائص الإقليمية للفقرات

نحن الآن مستعدون للنظر فى كيفية اختلاف الفقرات من منطقة إلى أخرى من العمود الفقرى ومن التشريح العام الذى تم وصفه للتو. معر فة هذه الاختلافات ستمكنك من تحديد المنطقة التى أُخذت منها فقر ة معزولة من العمود الفقرى. والأهم من ذلك، أن هذه التعديلات فى ا لشكل تعكس اختلافات وظيفية بين الفقرات.







الشكل 8.26 الفقرات الأطلس والمحور، الفقرات العنقية C1 و C2.)أ(الأطلس، منظر علوى.)ب(المحور، منظر خلفى علوى.
© مفصل الأطلس والمحور ودوران الأطلس. هذه الحركة تدير الرأس من جانب إلى آخر، كما فى الإشارة بـ "لا". لاحظ الرباط العرضى الذى يثبت نتوء المحور فى مكانه. APR

ما هى العاقبة الخطيرة التى قد تنتج عن تمزق الرباط العرضى؟

يعمل هذا النتوء كمحور دوران للرأس ويمنحه مدى حركة أكبر بكثير مم
ا لو كانت الفقرتان الأوليان تتحركان مثل الفقرات التى تحت C2. يبدأ
تكوين السن كمركز تكلس مستقل خلال السنة الأولى بعد الولادة ويل
تحم مع المحور بين عمر 3 إلى 6 سنوات. يبرز النتوء داخل الثقبة الفق
رية للفقرات الأولى)الأطلس(، حيث يستقر فى وجه مفصلى ويُثبت
فى مكانه بواسطة رباط عرضى)transverse ligament( )الشكل 8.
26ح(. قد يؤدى ضربة قوية على قمة الرأس إلى إصابة قاتلة حيث يُد
فع النتوء عبر الثقبة العظمى)foramen magnum(إلى جذع الدماغ.

المفصل بين الأطلس والجمجمة يُسمى المفصل الأطلسى القذالى)atlanto-oc
cipital joint(، والمفصل بين الأطلس والمحور يُسمى المفصل الأطل
سى المحورى)atlantoaxial joint(.

المحور هو أول فقرة تظهر بها نتوء شوكى.
فى الفقرات من C2 إلى C6، يكون النتوء مشقوقًا أو متفرعًا)bifid(عند طر
فه)الشكل 8.27أ(. يوفر هذا التشعب نقطة تثبيت للرباط العنقى)nuchal(.

د تشبه الفقرة النموذجية؛ فهى لا تحتوى على جسم، وهى أكثر من حلقة رقيق
ة تحيط بفتحة فقارية كبيرة. على كل جانب يوجد كتلة جانبية بها سطح مف
صلى علوى مقعر بعمق يتصل مع الحدبة القذالية للجمجمة. حركة إيماء الرأ
س، كما فى الإشارة بـ "نعم"، تجعل الحدبات القذالية تتأرجح ذهابًا وإيابًا على
هذه الأسطح. الأسطح المفصلية السفلية التى تكون مستوية نسبيًا أو مقعرة
قليلاً فقط، تتصل بالفقرة C2.

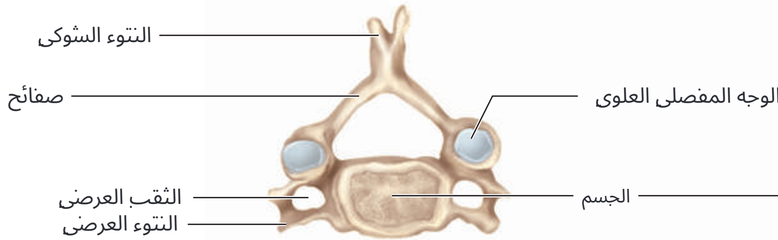
الكتل الجانبية متصلة بواسطة القوس الأمامى و القوس الخلفى، الل
ذين يحملان نتوءات طفيفة تسمى الحدبة الأمامية و الحدبة الخلفية
، على التوالى.
الفقرات العنقية الثانية)C2(، المعروفة باسم المحور، تسمح بدورا
ن الرأس كما فى إيماءة "لا". تتميز بوجود نتوء بارز يُسمى السن)dens(
)يُنطق "دينز"(، أو النتوء السنى)odontoid process(، على الجانب ا
لأمامى العلوى لها. لا توجد فقرة أخرى تحتوى على هذا النتوء.

[35] *bifid* = متفرع، مشقوق إلى جزأين

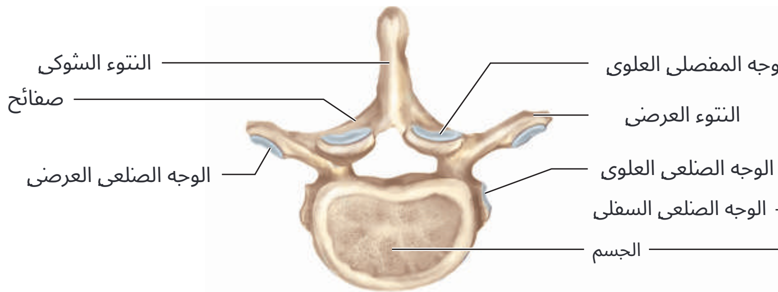
[34] *dens* = سن؛ *odont* = سن؛ *oid* = يشبه

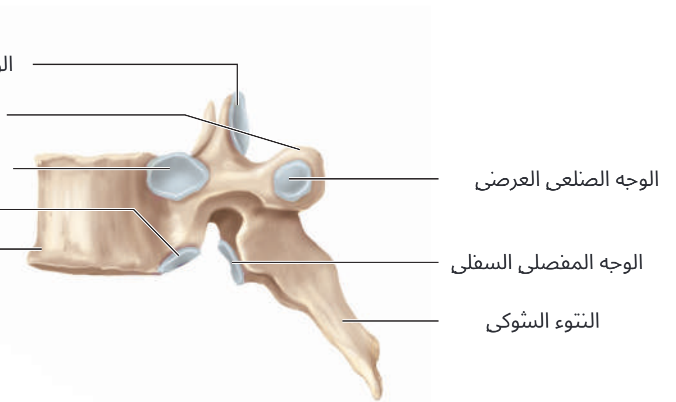
المناظر الجانبية

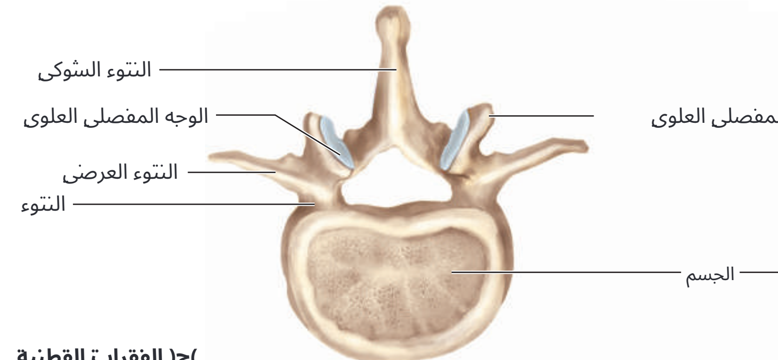
المناظر العلوية

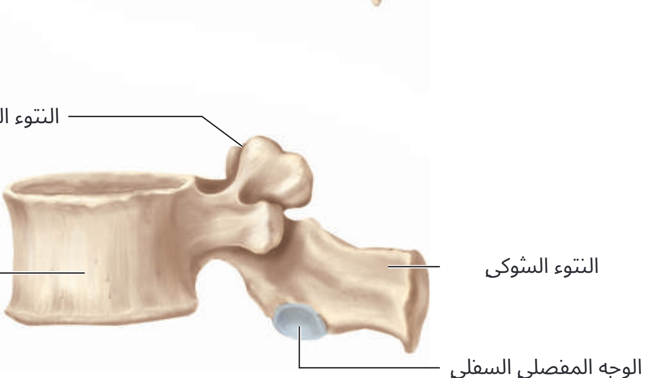












الشكل 8.27 الاختلافات الإقليمية فى الفقرات.)أ(الفقرات العنقية.)ب(الفقرات الصدرية.)ح(الفقرات القطنية. الأشكال على اليسار هى من الأعلى والأ
شكال على اليمين هى من الجانب الأيسر. APR

سيكون من الأسهل فهم الوظائف بعد دراسة تشريح الأضلاع، لذا سنع ود لاحقًا إلى تفاصيل هذه الأسطح المفصلية.

كل فقرة صدرية تحتوى على زوج من الوجوه المفصلية العلوية ال تى تواجه الخلف وزوج من الوجوه المفصلية السفلية التى تواجه الأمام)باستثناء الفقرة T12(. وبالتالى، فإن الوجوه العلوية التى تبرز للأعلى من فقرة واحدة تتصل بالوجوه السفلية التى تبرز للأسفل من الفقرة ا لتى تعلوها. ومع ذلك، فى الفقرة T12، تواجه الوجوه المفصلية السف لية جانبياً إلى حد ما بدلاً من الأمام. هذا يضعها فى موقع يمكنها من ا لاتصال بالوجوه المفصلية العلوية التى تواجه الوسط للفقرة القطنية ا لأولى.
يُظهر T12 بذلك انتقالًا تشريحيًا بين نمط الصدرية ونمط القطنية، كم ا هو موصوف لاحقًا.

الفقرات القطنية

هناك خمس فقرات قطنية)L1–L5(. تتميز بشكل واضح ب جسم سميك وقوى وعملية شوكية قصيرة ومربعة الشكل لارتباط ع ضلات القطنية القوية.
)الشكل 8.27ح(. بالإضافة إلى ذلك، فإن العمليات المفصلية لها مو جهة بشكل مختلف عن الفقرات الأخرى. تواجه العمليات العلوية باتجا ه الوسيط)مثل راحتى يديك على وشك التصفيق(، وتواجه العمليات السفلية باتجاه الجانب، نحو العمليات العلوية للفقرة التالية. هذا التر تيب يقاوم التواء العمود الفقرى السفلى. يمكن ملاحظة هذه الاختلافا ت بشكل أفضل على هيكل عظمى مفصلى.

العجز

العجز)SACK-rum, SAY-krum(هو صفيحة عظمية تشكل الجدار ا لخلفى لحزام الحوض)الشكل 8.28(. سُمى العجز بهذا الاسم بسبب بروزها كأكبر وأقوى عظمة فى العمود الفقرى. يوجد خمسة فقرات عج زية منفصلة)S1–S5(عند الأطفال، لكنها تبدأ بالاندماج حوالى سن 1 6 وتندمج بالكامل بحلول سن 26.

السطح الأمامى للعجز أملس نسبيًا ومقعر، ويحتوى على أربعة خ طوط عرضية تشير إلى أماكن اندماج الفقرات الخمس. يظهر هذا ال سطح أربعة أزواج من الثقوب العجزية الأمامية الكبيرة، التى تسمح بم رور الأعصاب إلى أعضاء الحوض والأطراف السفلية. السطح الخلفى خشن جدًا. تندمج النتوءات الشوكية للفقرات لتشكل حدبة تسمى ال تاج العجزى المتوسط. تندمج النتوءات العرضية لتشكل حدبة عجزية جانبية أقل بروزًا على كل جانب من التاج المتوسط. مرة أخرى على الح انب الخلفى للعجز، هناك أربعة أزواج من الفتحات للأعصاب الشوكية ، وهى الثقوب العجزية الخلفية. الأعصاب التى تخرج من هنا تغذى م نطقة الأرداف.

يمر قناة عجزية عبر العجز وتنتهى بفتحة سفلية تسمى الفتحة الع جزية)sacral hiatus(. تحتوى هذه القناة على جذور الأعصاب الشو كية. على كل جانب من العجز توجد منطقة على شكل أذن تسمى ال سطح الأذنى)auricular surface(.
يتصل هذا السطح بسطح مشابه الشكل على عظمة الحوض)انظر الش كل 8.38ب(ويشكل المفصل العجزى الحرقفى القوى، شبه الثابت.

37 ساكر = عظيم، بارز
38 أورى = أذن؛ كول = صغير؛ أر = متعلق بـ

الرباط فى الجزء الخلفى من الرقبة. تحتوى جميع الفقرات العنقية ال سبع على فتحة عرضية دائرية بارزة فى كل نتوء عرضى. توفر هذه ال فتحات ممرًا وحماية ل الشرايين الفقرية، التى تزود الدماغ بالدم، و الأ وردة الفقرية، التى تصرف الدم من مختلف هياكل الرقبة)ولكن ليس من الدماغ(. لا توجد فتحات عرضية فى أى فقرات أخرى، وبالتالى تو فر وسيلة سهلة للتعرف على الفقرة العنقية.

الفقرات العنقية من C3 إلى C6 تشبه الفقرة النموذجية الموضح ة فى الشكل 8.23أ، مع إضافة الثقوب العرضية والنتوءات الشوكية ا لمشقوقة. الفقرة C7 مختلفة قليلاً—فإن نتوءها الشوكى غير مشقوق ، ولكنه طويل بشكل خاص ويشكل نتوءًا بارزًا فى الجزء السفلى الخل فى من الرقبة.
يُطلق على الفقرة C7 أحيانًا اسم *الفقرة البارزة* بسبب هذا الناتئ الشوكى البارز. تُعد هذه الميزة علامة مميزة مناسبة لعد الفقرات عن طريق اللمس. يمكن بسهولة تحديد أكبر نتوء فى الرقبة على أنه C7، ثم العد صعودًا أو هبوطًا من هناك لتحديد الفقرات الأخرى.

الفقرات الصدرية

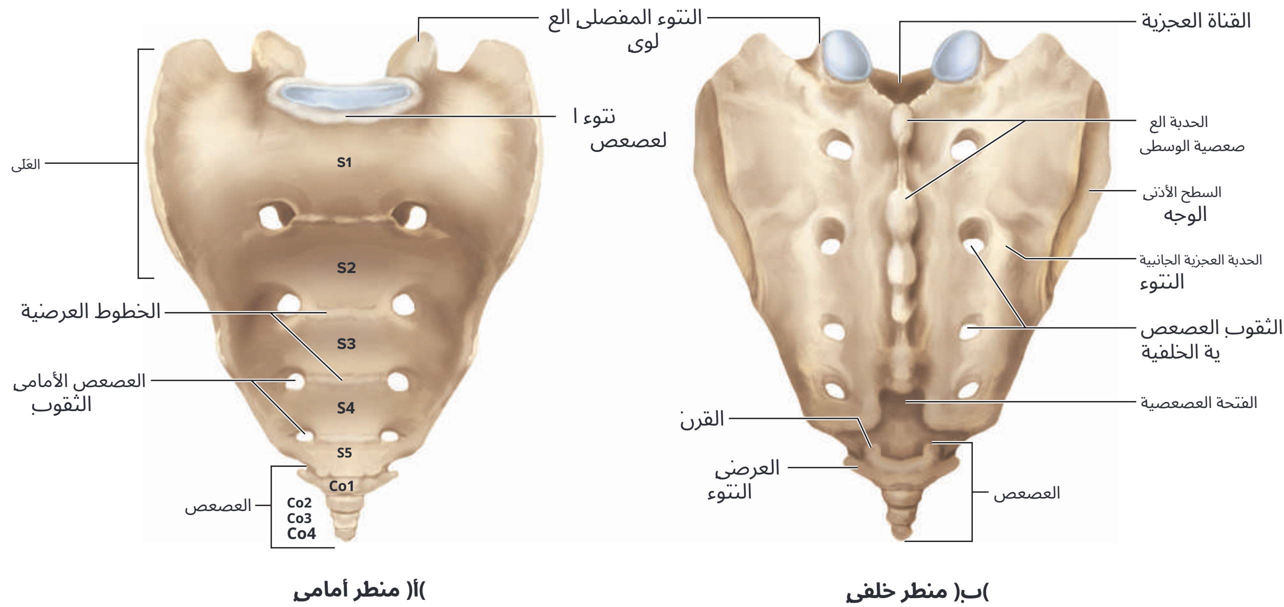
هناك 12 فقرة صدرية)T1–T12(، تتوافق مع
12 زوجًا من الأضلاع المرتبطة بها؛ ولا توجد أية فقرات أخرى تحمل أضلاعًا.
إحدى وظائف الفقرات الصدرية هى دعم القفص الصدرى الذى يحيط بالقلب والرئتين. تفتقر إلى الثقوب العرضية والنتوءات المشقوقة ال تى تميز الفقرات العنقية، لكنها تمتلك الميزات المميزة التالية الخا صة بها

)الشكل 8.27ب(:

- النواتئ الشوكية حادة نسبيًا وتميل بزاوية حادة نحو الأس فل.
- الجسم يشبه إلى حد ما شكل القلب، أثقل من الفقرات الع نقية ولكنه أقل وزناً من الفقرات القطنية.
- لجسم بقع صغيرة وناعمة ومقعرة قليلاً تُسمى *السطوح الضلعية* لارتباط الأضلاع بها.
- الفقرات من T1 إلى T10 تحتوى على وجه ضلعى عرضى ص حل يشبه الكأس عند نهاية كل نتوء عرضى. توفر هذه نقطة اتصال ثانية للأضلاع من 1 إلى 10. لا توجد أ وجه مفصلية عرضية على الفقرتين T11 وT12 لأن الضلوع 11 و12 ترتبط فقط بأجسام هاتين الفقرتين.

تختلف الفقرات الصدرية فيما بينها بشكل رئيسى فى طريقة ال تقاءها مع الأضلاع)انظر الشكل 8.31(. فى معظم الحالات، تدخل ال ضلع بين فقرتين، بحيث تساهم كل فقرة بنصف سطح المفصل. ير تبط الضلع بالوجه الضلعى السفلى للفقرة العلوية والوجه الضلعى الع لوى للفقرة التى تحتها. قد يكون هذا المصطلح مربكًا بعض الشىء، و لكن لاحظ أن الوجوه العلوية والسفلية تُسمى حسب موقعها على ح سم الفقرة، وليس حسب الجزء من التقاء الضلع الذى توفره. ومع ذل ك، فإن الفقرات T1 وT10 إلى T12 تحتوى على وجوه ضلعية كاملة ع لى الأجسام للأضلاع 1 و10 إلى 12، والتى ترتبط على أجسام الفقرات بدلاً من بين الفقرات. كما هو مذكور، فإن الفقرتين T11 وT12 لا تح تويان على وجوه ضلعية عرضية. هذه الاختلافات ستطل

36 كوستا = ضلع؛ آل = متعلق بـ



الشكل 8.28 العجز والعصعص.)أ(السطح الأمامى، الذى يواجه أحشاء تجويف الحوض.)ب(السطح الخلفى.
APR يمكن تحسس نتوءات هذه السطح فى منطقة العجز.

التنفس؛ حيث يتمدد بشكل إيقاعى بواسطة عضلات التنفس ليخلق فراغًا يسحب الهواء إلى الرئتين، ثم يُضغط لطرد الهواء.

عظم القص

عظم القص)عظم الصدر(هو صفيحة عظمية أمام القلب. ينقسم إلى ثلاثة أجزاء: المقبض، الجسم، والزوائد الخنجرية. المقبض)manubrium(هو الجزء العلوى العريض، يشبه عقدة ربطة العنق. يقع عند مستوى الفقرات T3 إلى T4. يحتوى على الشق فوق القصى)الوريدى(المتوسط، والذى يمكنك تحسسه بسهولة بين عظام الترقوة)عظام الترقوة(، وعلى جانبيه شقان الترقوة الأيمن والأيسر حيث يتصل بعظام الترقوة. تُسمى هذه المفاصل مفاصل القص والترقوة. الجسم على شكل خنجر، أو الغلاديولوس، هو أطول جزء من عظم القص، ويقع عند مستوى الفقرات T5 إلى T9. يتصل بالمقبض عند زاوية القص، التى يمكن تحسسها كحد عرضى عند النقطة التى يبرز فيها عظم القص إلى الأمام أكثر. ومع ذلك، فى بعض الأشخاص، تكون الزاوية مستديرة أو مقعرة. يرتبط الضلع الثانى هنا، مما يجعل زاوية القص علامة مفيدة لعد الأضلاع عن طريق التحسس. يحتوى المقبض والجسم على حواف جانبية متعرجة حيث تُثبت غضاريف الأضلاع.فى الطرف السفلى)المستوى الفقرى T10 إلى T11(يوجد نتوء صغير مدبب يُسمى النتوء الخنجرى)xiphoid process[43] (ZIF-oyd(الذى يوفر نقطة ارتكاز لبعض عضلات البطن. فى الإنعاش القلبى الرئوى، يمكن للضغطات الصدرية التى تُجرى بشكل غير صحيح أن تدفع النتوء الخنجرى إلى الكبد وتسبب نزيفًا قاتلًا.

)مفصل العجز الحرقفى)SI( )ساكرو-إيلياك(. يبرز جسم الفقرة S1 إلى الأمام ليشكل نتوء العجز الذى يدعم جسم الفقرة L5. بجانب الحدبة العجزية الوسطى، يحتوى S1 أيضًا على زوج من العمليات المفصلية العلوية التى تتصل بالفقرة L5.
جنبًا إلى جنب مع هذه، يوجد زوج من الامتدادات الكبيرة والخشنة على شكل أجنحة تُسمى الأجنحة)alae( )آيلى(.

العصعص

تندمج ثلاث إلى خمس)عادة أربع(فقرات عصعصية صغيرة)الفقرات العصعصية( )Co1 إلى Co4 أو Co5(بحلول سن 20 إلى 30 عامًا لتشكل العصعص)COC-six( )الشكل 8.28(، والذى يُطلق عليه عاميًا اسم عظم الذيل. وعلى الرغم من أنه بالفعل بقايا ذيل سلفى، إلا أنه ليس عديم الفائدة تمامًا؛ فهو يوفر نقاط ارتكاز لعضلات قاع الحوض. تحتوى الفقرة Co1 على زوج من القرون)cornua(التى تعمل كنقاط تثبيت للأربطة التى تربط العصعص بالعجز. يمكن أن ينكسر العصعص نتيجة ولادة صعبة أو سقوط قوى على الأرداف.

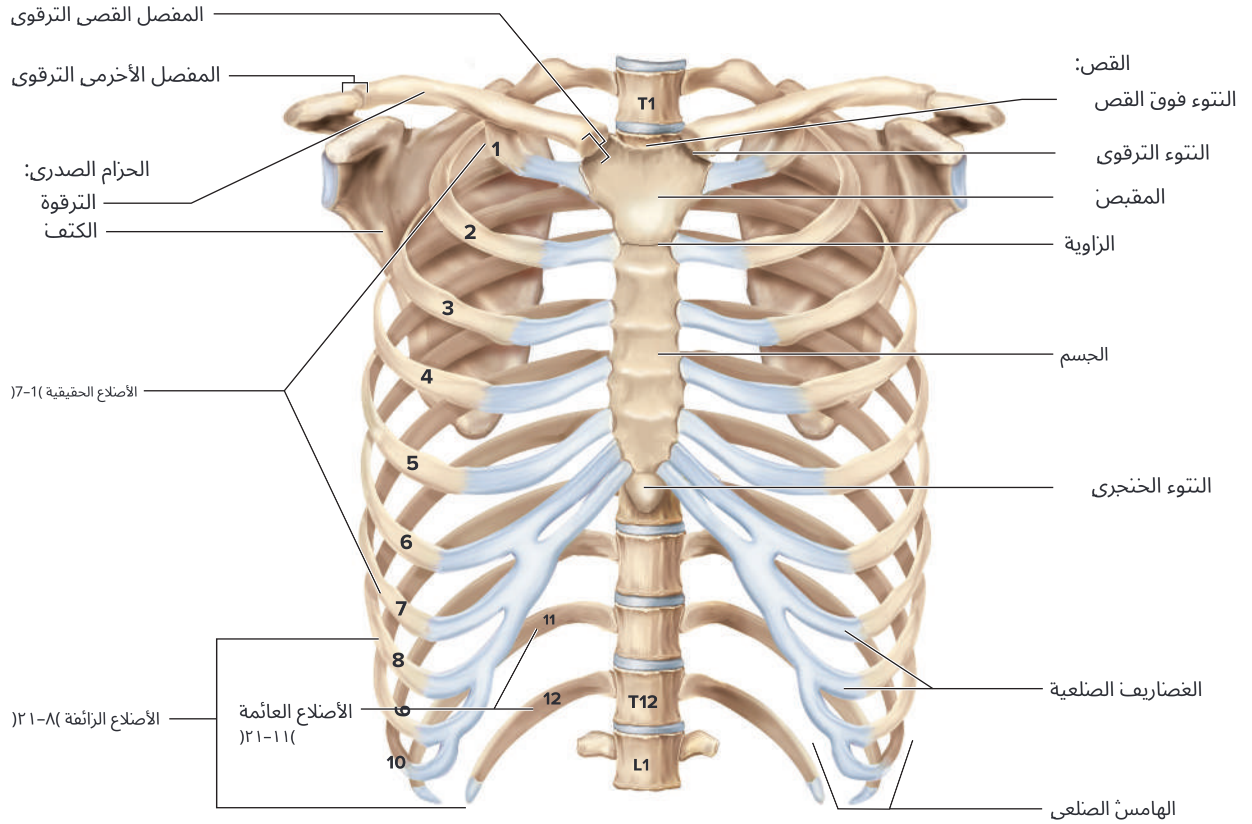
8.3e القفص الصدرى

يتكون القفص الصدرى)الشكل 8.29(من الفقرات الصدرية، وعظم القص، والأضلاع. يشكل غلافًا مخروطيًا تقريبًا للرئتين والقلب ويوفر نقاط تثبيت لحزام الكتف والطرف العلوى. له قاعدة عريضة وقمة علوية أضيق إلى حد ما. الحد السفلى له هو قوس الأضلاع السفلية، والذى يُسمى الهامش الضلعى. يحمى القفص ليس فقط الأعضاء الصدرية بل أيضًا الطحال، ومعظم الكبد والمعدة، وإلى حد ما الكليتين. والأهم من ذلك دوره فى

---

[39] الأجنحة = الأجنحة
[40] العصعص = الوقواق)سُمى بذلك لتشابه شكله مع منقار الوقواق(

[41] اليد = المقبض
[42] الغمد = السيف
[43] *xipho* = السيف؛ *oid* = يشبه



APR الشكل ٩٢.٨ القفص الصدرى والحزام الصدرى)منظر أمامى(.

فورًا بعد الرأس، يضيق الضلع إلى عنق ثم يتسع مرة أخرى ليشكل م نطقة خشنة تُسمى الحدبة. هذه هى نقطة اتصاله بالوجهة الضلعية ا لعرضية لنفس الفقرة. بعد الحدبة، يصبح الضلع مسطحًا وعريضًا لى شكل عمودًا)جسمًا(يشبه الشفرة مائلًا بلطف. ينتهى العمود فى الطر ف البعيد بمنطقة خشنة مربعة الشكل. فى الشخص الحى، يبدأ الغ ضروف الضلعى هنا ويمتد حتى القص العلوى.

الأضلاع من ٢ إلى ٧ تظهر مظهرًا أكثر نمطية)الشكل ٣.٨٠ب(. فى الطرف القريب، كل ضلع يحتوى على رأس وعن ق وتُرْبُل. الرأس على شكل إسفين ويدخل بين فقرتين. كل حافة من الإسفين لها سطح أملس يُسمى الوجه المفصلى. الوجه المفصلى العلوى يرتبط بالوجه الضلعى السفل ى للفقرة أعلاه؛ الوجه المفصلى السفلى يرتبط بالوجه الضلعى العلوى للفقرة أدناه. تُفصل التُرْبُل الخاص بالضلع مع الوجه الضلعى العرضى للفقرة التى تحمل نفس الرقم. الشكل ١٣.٨ يوضح تفاصيل ارتباط ـت الضلع بالفقرة النموذجية لهذه المنطقة من القفص الصدرى.

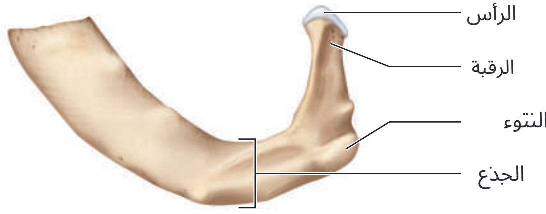
بعد التُرْبُل، ينحنى كل ضلع بشكل حاد حول جانب الصدر ثم ى تقدم إلى الأمام ليقترب من القص)انظر الشكل ٩٢.٨(. يُسمى هذا الا نحناء زاوية الضلع، وبقية الشفرة العظمية بعده تُسمى الجذع. الحافة ا لسفلية للجذع تحتوى على أخدود ضلعى يحدد مسار الأوعية الدموية والأعصاب بين الأضلاع. كل من هذه الأضلاع، مثل الضلع ١،

الأضلاع

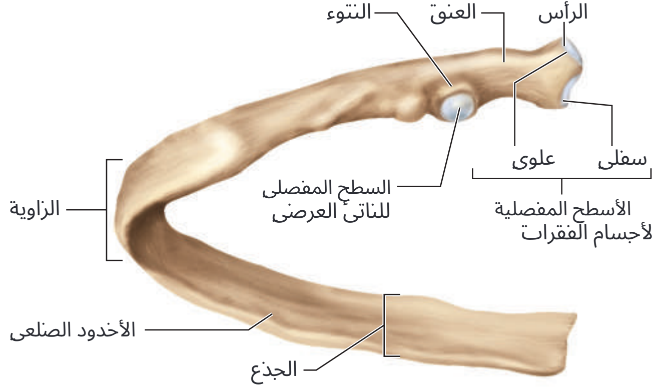
عادةً ما يكون هناك 12 زوجًا من الأضلاع، دون اختلاف بين الذكور وا لإناث)رغم الاعتقاد الشائع(. أظهرت الدراسات أن حوالى 6% من ال سكان لديهم اختلافات، تتراوح من ضلع واحد أقل من المعتاد إلى 15 زوجًا. كل ضلع متصل فى نهايته الخلفية)القريبة(بالعمود الفقرى، وم عظمها متصل أيضًا فى نهايته الأمامية)البعيدة(بالقص. يتم التوصي ل الأمامى عن طريق شريط طويل من الغضروف الزجاجى يُسمى الغ ضروف الضلعى)COSS-tul(. تسمح الغضاريف الضلعية ا لمرنة إلى حد ما بحركة الأضلاع اللازمة للتنفس.

يتم ترقيم الأضلاع من 1 إلى 12 من الأعلى إلى الأسفل. كقاعدة ع امة، تزداد أطوالها من 1 إلى 7 ثم تبدأ بالتناقص تدريجيًا حتى الضلع 1 2. تزداد ميلانها)انحدارها(من 1 إلى 9، ثم يقل الميلان من 10 إلى 1 2. تختلف أيضًا فى تركيبها الفردى وموصلاتها على مستويات مختلفة من القفص الصدرى، لذا سنفحصها بالترتيب أثناء النزول فى الصدر، مع ملاحظة خصائصها العامة وكذلك اختلافاتها الفردية.

الضلع 1 مميز. فى الهيكل العظمى المترابط، ابحث عن وصله ال فقرى أسفل قاعدة العنق مباشرة؛ يقع جزء كبير من هذا الضلع فوق م ستوى الترقوة)الشكل 8.29(. إنه صفيحة عظمية قصيرة، مسطحة، ع لى شكل حرف C)الشكل 8.30أ(. فى الطرف الفقرى، يظهر رأسًا بارزً ا)head(يتصل بجسم الفقرة T1.



)أ(الضلع 1

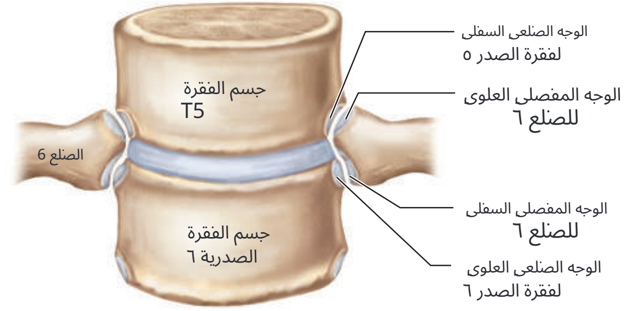


)ب(الأضلاع ٢-١٠

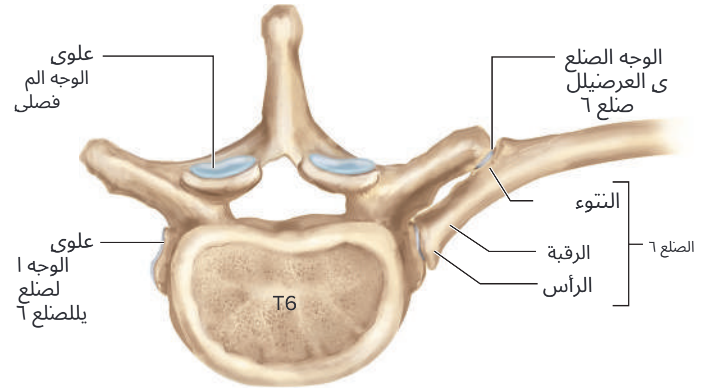


)ح(الأضلاع ١١-١٢

الشكل 8.30 تشريح الأضلاع.)أ(الضلع 1)منظر علوى(هو صفيحة مسطحة غير نمطية.)ب(الميزات النمطية للأضلاع من 2 إلى 10.)ح(مطهر الأضلاع العائمة، 11 و 12.



)أ(منظر أمامى



)ب(منظر علوى

الشكل 8.31 ارتباط الضلع 6 مع الفقرتين الصدريتين T5 و T6.)أ(منظر أمامى. لاحظ العلاقة بين الوجوه المفصلية للضلع والوجوه الضلعية للفقرتين.)ب(منظر علوى. لاحظ أن الضلع يرتبط بالفقرة عند نقطتين: الوجه الضلعى على جسم الفقرة و الوجه الضلعى العرضى على النتوء العرضى.

ينتهى فى منطقة غليظة وخشنة حيث يبدأ الغضروف الضلعى. لكل ضلع غضروف ضلعى خاص به يربطه بعظم القص؛ وبسبب هذه الخاصية، تُسمى الأضلاع من 1 إلى 7 بالأضلاع الحقيقية)الفقرية القصية(. تُسمى الأضلاع من 8 إلى 12 بالأضلاع الزائفة لأنها تفتقر إلى وصلات غضروفية مستقلة بعظم القص. كما تُسمى الأضلاع من 8 إلى 10 بالأضلاع الفقرية الغضروفية؛ حيث تنحنى غضاريفها الضلعية صعودًا وتنتهى على غضروف الضلع السابع)انظر الشكل 8.29(. يختلف الضلع 10 أيضًا عن الأضلاع من 2 إلى 9 فى أنه يرتبط بجسم فقرة واحدة)T10(بدلاً من الارتباط بين فقرتين. وبالتالى، للفقرة T10 وجه غضروفى كامل على جسمها للضلع 10. الأضلاع 11 و12 غير عادية أيضًا؛ تُسمى الأضلاع العائمة)الفقرية (لأنها لا تملك أى اتصال مباشر أو غير مباشر بعظم القص على الإطلاق)الشكل 8.30ح(. من الخلف، ترتبط بأجسام الفقرتين T11 وT12، لكنها لا تملك نتوءات ولا ترتبط بالمسارات العرضية للفقرتين. لذلك، لا تملك هاتان الفقرتان وجوهًا غضروفية عرضية. فى الطرف البعيد، تنحنى هاتان الضلعتان الصغيرتان والرقيقتان إلى نقطة وتُغطى بطرف غضروفى صغير؛ لا يوجد اتصال غضروفى بعظم القص أو بأى من الغضاريف الضلعية العليا. الأضلاع مدمجة فقط فى عضلات القطنية عند هذا النهاية. فى الأشخاص من الأصول اليابانية وبعض الأصول الأخرى، غالبًا ما يكون الضلع 10 أيضًا عائمًا. الجدول 8.4 يلخص التباينات فى تسمية الأضلاع وفقًا لاتصالاتها بعظم القص.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

9. ناقش مساهمة الأقراص بين الفقرات فى طول ومرونة العمود الفقرى.

10. أنشئ جدولًا بثلاثة أعمدة معنونة بـ C4 وT4 وL4. فى كل عمود، أدرج جميع الخصائص التشريحية التى تميز تلك الفقرة عن الفقرتين الأخريين.

11. سمِّ الأجزاء الثلاثة لعظم القص. كم عدد الأضلاع التى ترتبط) مباشرة أو غير مباشرة(بكل جزء؟

12. صف كيف يرتبط الضلع الخامس بالعمود الفقرى. كيف يختلف الضلعان الأول والثانى عشر عن هذا وعن بعضهما البعض فى طرق الارتباط؟

13. ميز بين الأضلاع الحقيقية، والأضلاع الزائفة، والأضلاع العائمة. أى الأضلاع تندرج تحت كل فئة؟

14. سمِّ الأقسام الثلاثة لعظم القص واذكر ملامح القص التى يمكن جسها على شخص حى.



)أ(منظر علوى



)ب(منظر سفلى

الشكل 8.32 الترقوة اليمنى.)أ(منظر علوى.)ب(منظر سفلى

APR

الصدر العلوى)انظر الأطلس ب، الشكل ب.1ب(. السطح العلوى أمل
س ومستدير نسبيًا، بينما السطح السفلى أكثر تسطحًا ومميزًا بالأخاد
يد والحواف لارتباط العضلات. الطرف الإنسى الطرف القصى له أ
س مستدير يشبه المطرقة، والطرف الوحشى الطرف الأكرومى مس
طح بشكل ملحوظ. بالقرب من الطرف الأكرومى توجد نتوءة صغيرة
تسمى الحدبة المخروطية — وهى نقطة ارتباط الرباط التى تواجه الخ
لف قليلاً والأسفل.
عظمة الترقوة تدعم الكتف، مما يبقى الطرف العلوى بعيدًا عن خ
ط وسط الجسم، وهى نقطة ارتباط لبعض عضلات حركة الرأس)الع
ضلة القصية الترقوية الخشائية والعضلة شبه المنحرفة(. كما تنقل ال
قوة من الذراع إلى المنطقة المحورية للجسم، كما يحدث عند أداء تمار
ين الضغط. تصبح العظمة أكثر سمكًا لدى الأشخاص الذين يقومون
بأعمال يدوية شاقة، وفى الأشخاص الذين يستخدمون اليد اليمنى،
تكون عظمة الترقوة اليمنى عادة أقوى وأقصر من اليسرى بسبب الح
مل الواقع عليها. بدون عظام الترقوة، ستسحب عضلات الصدر الكبر
ى الأكتاف إلى الأمام والوسط — وهذا ما يحدث بالفعل عند كسر عظ
مة الترقوة. عظمة الترقوة هى واحدة من أكثر العظام تعرضًا للكسور
فى الجسم لأنها قريبة جدًا من السطح ولأن الناس غالبًا ما يمدون أذر
عهم لكسر السقوط أو للتثبيت أثناء تصادمات المركبات.

الكتف

الكتف)الشكل 8.33(، سُميت لتشابهها مع المجرفة أو الكريك، وه
ى صفيحة مثلثة تغطى من الخلف الأضلاع من 2 إلى 7.
ارتباطها المباشر الوحيد مع الصدر يكون عبر العضلات؛ حيث تنزلق ع
بر القفص الصدرى مع حركة الذراع والكتف. تُسمى الأضلاع الثلاثة للم
ثلث الحافة العلوية، الحافة الإنسية)الفقارية(، والحافة الوحشية)الإ
بطية(، وزواياها الثلاثة هى الزاوية العلوية، السفلية، والزاوية الوحش
ة. يوجد شق واضح فوق الكتفى فى الحافة العلوية يسمح بمرور ع
صب. السطح الأمامى العريض للكتف، المسمى الحفرة تحت الكتف
ية، مقعر قليلاً وخالى نسبيًا من الملامح. السطح الخلفى يحتوى على
نتوء عرضى يسمى العمود الفقرى للكتف، مع تجويف عميق فى الأع
لى.

[45] scap = مجرفة، كريك؛ ula = صغير

الجدول 8.4	مفاصل الأضلاع	
الضلع	النوع	الغضروف الضلعى
1	حقيقى، ضلعى صدرى	فردى
2	حقيقى، ضلعى صدرى	فردى
3	حقيقى، ضلعى صدرى	فردى
4	حقيقى، ضلعى صدرى	فردى
5	حقيقى، ضلعى صدرى	فردى
6	حقيقى، ضلعى صدرى	فردى
7	حقيقى، ضلعى صدرى	فردى
8	خاطئ، غضروفى صدرى	مشترك مع الضلع 7
9	خاطئ، غضروفى صدرى	مشترك مع الضلع 7
10	خاطئ، غضروفى صدرى	مشترك مع الضلع 7
11	خاطئ، عائم، فقرى	لا شىء
12	خاطئ، عائم، فقرى	لا شىء

8.4 الحزام الصدرى والطرف العلوى

النتيجة التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. تحديد ووصف مميزات الترقوة، الكتف، العضد، الكعبرة، الزند، وع
ظام الرسغ واليد.

أ8.4 الحزام الصدرى

الحزام الصدرى)حزام الكتف(يدعم الذراع ويربطه
بالهيكل المحورى. يتكون من عظمتين على كل جانب من
الجسم: الترقوة)عظمة الترقوة(والكتف)لوح الكتف(.
النهاية الوسطى للترقوة تتصل بالقص عندمفصل القص والترقوة، ونه
ايتها الجانبية تتصل بالكتف عندمفصل الأخرم والترقوة)انظر الشكل
8.29(. كما أن الكتفيتصل بعظم العضد عند مفصل الكتف. هذه الات
صالاتمرنة مما يجعل الكتف أكثر حركة بكثير من معظم الثدييات الأخ
رى،ولكنها تجعل مفصل الكتف عرضة للخلع بسهولة.

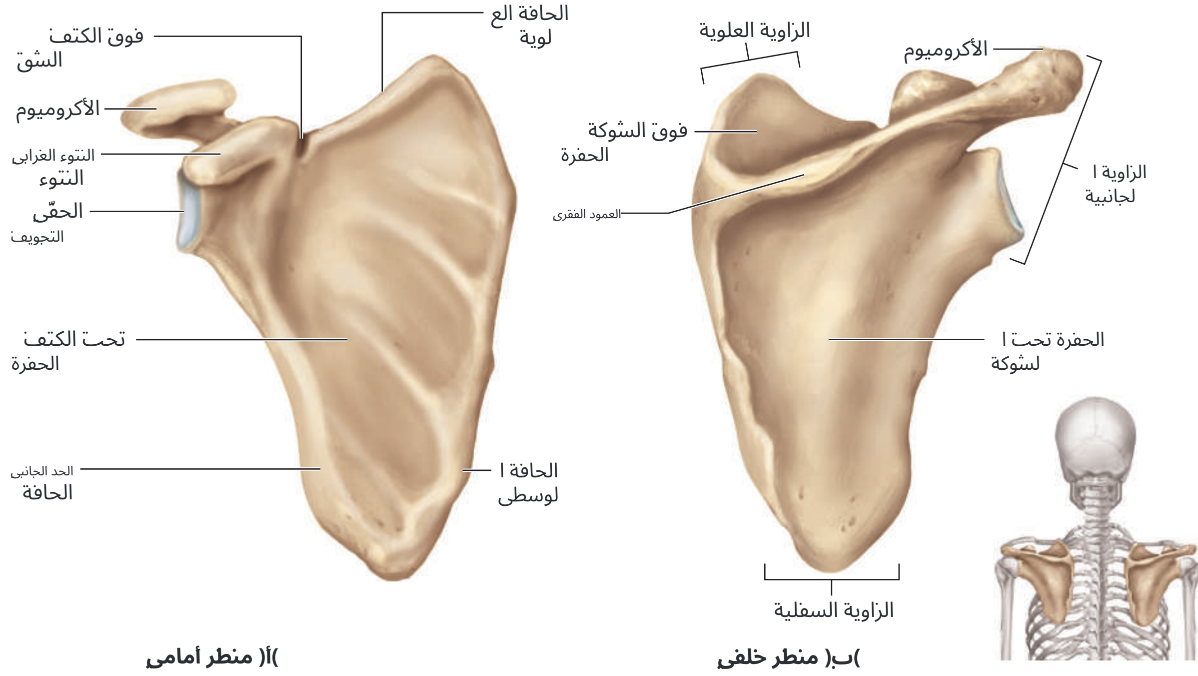
▶▶▶ طبق ما تعرفه

كيف ترتبط الحركة غير العادية لمفصل الكتف البشرى
بموطن أسلافنا من الرئيسيات؟

الترقوة

الترقوة44)الشكل 8.32(على شكل حرف S قليلاً، ومسطحة
بعض الشىء من السطح العلوى إلى السفلى، ويمكن رؤيتها بسهولة وتحسسها على

[44] clav = مطرقة، هراوة، مفتاح؛ icle = صغير



APR الشكل 8.33 الكتف الأيمن.)أ(منظر أمامى.)ب(منظر خلفى.

2. السابق للذراع)منظقة الساعد أو الساعد[51](تمتد من المر فق إلى المعصم وتحتوى على عظمتين: الزند و الكعبرة. ف ى الوضع التشريحى، تكون هاتان العظمتان متوازيتين ويقع عظم الكعبرة جانبيًا بالنسبة للزند.

3. تتكون اليد من منطقة الرسغ[52]، التى تحتوى على 8 عظام ر سغ صغيرة مرتبة فى صفين فى قاعدة اليد؛ ومنطقة مشط ال يد فى راحة اليد، مع 5 عظام؛ و الأصابع)الأصابع(، التى تح توى على 14 عظمة. فقط اليد تحتوى على 54 من أصل 206 عظام فى الجسم—أى أكثر من ربع الهى كل العظمى من حيث عدد العظام.

لاحظ أن ما نسميه شائعًا بالمعصم — المنطقة الضيقة حيث يمكن ا رتداء سوار أو ساعة معصم — ليس ما يسميه علماء التشريح منطقة ا لرسغ: القاعدة السميكة واللحمية لليد القريبة من تجويف راحة اليد.

عظم العضد

للعظم العضدى رأس نصف كروى يتصل مع التجويف الحقّى للكتف)الشكل 8.34(. السطح الأملس للرأس)مغطى بغضروف مفصلى فى الحالة الحية(محاط بأخدود يسمى الرقبة التشريحية. من الميزات ال بارزة الأخرى للنهاية القريبة هى مواضع ارتباط العضلات المسماة التح دبات الكبرى و الصغرى و الأخدود بين التحدبات الذى يستوعب وتر عضلة العضد ذات الرأسين.

الرقبة الجراحية، وهى موقع شائع للكسور، هى تضييق فى

إلى العمود الفقرى تُسمى الحفرة فوق الشوكة، وسطح واسع أسفلها يُسمى الحفرة تحت الشوكة.[46] أكثر منطقة معقدة فى الكتف هى زاويته الجانبية، التى تحتوى على ثلاث ميزات رئيسية:

1. ال الأكروميوم[47])ah-CRO-me-on(هو امتداد مسطح لعمود الكتف يشكل قمة الكتف. يتصل بعظمة الترقوة، التى تشكل الجسر الوحيد من الهيكل الطرفى إلى الهيكل المحورى.

2. العملية الكوراكوية[48])COR-uh-coyd(سُميت بسب ب تشابه غامض مع منقار الغراب، لكنها تأخذ شكل إصبع مثنى؛ وتوفر نقطة ارتكاز لأوتار *عضلة ذات الرأسين العضدية* والعضلات الأخرى فى الذراع.

3. التجويف الجلنويدى[49])GLEN-oyd(هو تجويف سطحى يتصل برأس عظم العضد، مكونًا مفصل الجلنوهرم. يتم تف صيل تشريح هذا المفصل فى الفصل 9.

8.4ب الطرف العلوى

يحتوى كل طرف علوى على 30 عظمة موزعة فى ثلاثة أجزاء من الطر ف كما يلى:

1. الذراع الحقيقى)منطقة العضد أو العضد[50] [BRAY-kee-um](تمتد من الكتف إلى المرفق. تحتوى على عظمة واحدة فقط، وه ى *العظم العضدى*.

[46] *supra*= فوق؛ *infra* = تحت
[47] *acr* = طرف، نقطة، قمة؛ *omi*= كتف
[48] *corac* = غراب؛ *oid* = شبيه بـ
[49] *glen* = حفرة، تجويف؛ *oid* = شبيه بـ
[50] *براكى* = الذراع
[51] *ante*= قبل
[52] *carp* = معصم

تُسمى نتوءات عظم العضد الجانبية والوسطى supracondylar ridge
s. هذه هى نقاط ارتكاز لبعض عضلات الساعد التى وُص
فت فى الفصل 10.

النهاية البعيدة لعظم العضد تظهر أيضًا ثلاث حفر عميقة:
اثنان أماميان وواحد خلفى. الحفرة الخلفية، المسماة
الحفرة الزندية)oh-LEC-ruh-non(، تستوعب نتوءًا من عظم ا
لزند يُسمى *الزندانى* عند تمديد المرفق. على السطح الأمامى، توجد ح
فرة وسطية تُسمى الحفرة الإكليلية تستوعب *النتوء الإكليلى* لعظم ا
لزند عند ثنى الساعد.
الحفرة الجانبية هى الحفرة الكعبرية، المسماة نسبة إلى رأس
العظم الكعبر.

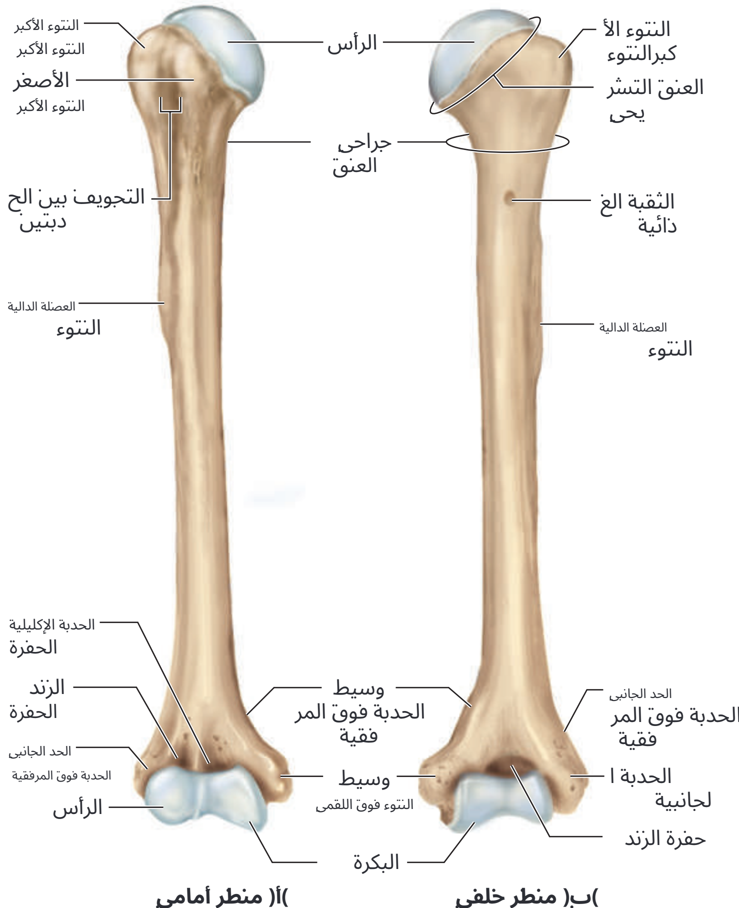
العظم الموجود مباشرة بعد النتوءات، عند الانتقال من الرأس إلى الح
ذع. يحتوى الجذع على منطقة خشنة تسمى نتوء الدالية على سطحه
الجانبى. هذا هو موضع إدخال عضلة الدالية فى الكتف.

النهاية البعيدة لعظم العضد تحتوى على مفصلين ناعمين. المف
صل الجانبى، المسمى الرأسية [53])ca-PIT-you-lum(، يشبه الإ
طار العريض ويتصل بعظم الكعبرة. المفصل الوسيط، المسمى البكر
ة [54])TROCK-lee-uh(، يشبه البكرة ويتصل بعظم الز
ند. مباشرةً فوق هذه المفاصل، يتسع عظم العضد ليشكل نتوءين عظ
ميين، النتوء الجانبى والنتوء الوسيط، وهما النتوءان اللذان يمكنك لم
سهما عند أوسع نقطة فى مرفقك. يحمى النتوء الوسيط العصب الز
ندى، الذى يمر قريبًا من السطح عبر خلف المرفق. يُعرف هذا النتوء
شعبيًا باسم "العظم المضحك" لأن ضرب المرفق على حافة الطاولة
يحفز العصب الزندى ويُنتج إحساسًا حادًا بالوخز. مباشرةً فوق النتوءا
ت، الحواف

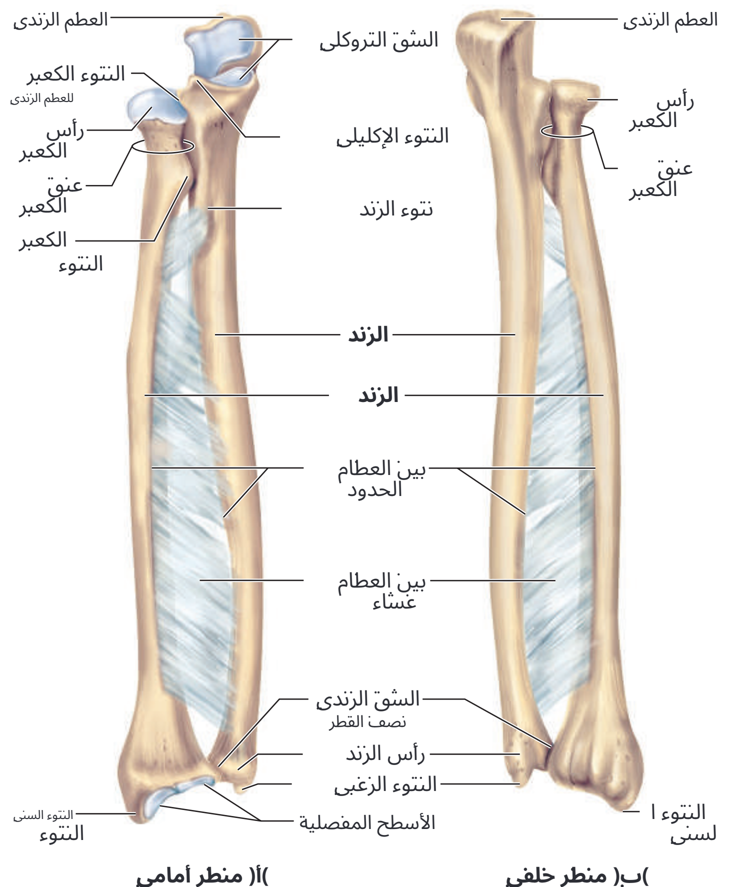
العظم الكعبر

العظم الكعبر له رأس قرصى مميز فى الطرف القريب)الشكل 8.35
(. عندما يتم تدوير الساعد بحيث تتجه راحة اليد إلى الأمام والخلف،
تدور السطح العلوى الدائرى لهذا القرص على المفصل الكروى للعظم
العضدى، وتدور حافة القرص على النتوء الكعبر للعظم الزندى. مباشرة
أسفل الرأس، يحتوى العظم الكعبر على عنق أضيق ثم يتسع إلى ن
توء خشن، وهو الحدبة الكعبرية، على سطحه الوسيط. ينتهى وتر الع
ضلة ذات الرأسين على هذه الحدبة.

[53] capit = رأس؛ ulum = صغير
[54] troch = عجلة، بكرة



الشكل 8.34 عظم العضد الأيمن.)أ(منظر أمامى.
APR)ب(منظر خلفى.



الشكل 8.35 الزند والزند الإبهامى الأيمن.)أ(منظر أمامى.
APR)ب(منظر خلفى.

يمكن التعرف على العظم الخطافى بواسطة خطاف بارز يُسمى الخطا ف على الجانب الراحى)الشكل 8.36ب(. الخطاف هو نقطة ارتكاز لـ الرباط المثنى ، وهو غشاء ليفى فى المعصم يغطى النفق الرسغى)ان طر الشكل 10.31(.

عظام المشط

تمتد عظام المشط[58] عبر منطقة راحة اليد. يقع المشط الأول بالقرب من قاعدة الإبهام والمشط الخامس بالقرب من قاعدة الإصبع الصغير. على الهيكل العظمى، تبدو عظام المشط كامتدادات للأصابع، مما يجعل الأصابع تبدو أطول بكثير مما هى عليه فعلاً. يُسمى الطرف القريب لعظم المشط القاعدة، والجزء الأوسط ا لجسم، والطرف البعيد الرأس. تشكل رؤوس عظام المشط الصف ال قريب من المفاصل عندما تقبض قبضتك.

السلاميات

تُسمى عظام الأصابع السلاميات)fah-LAN-jeez(—فى المفرد، *السلامية*)FAY-lanks(. هناك سلاميتان فى الإبهام وثلا ث سلاميات فى كل من الأصابع الأخرى. تُحدد السلاميات برموز روما نية تسبقها كلمات *القريبة، الوسطى*، و البعيدة. على سبيل المثال، ا لسلامية القريبة الأولى تقع فى الجزء القاعدى من الإبهام)الجزء الأول بعد الوصلة بين الإبهام وراحة اليد(؛ السلامية القريبة الرابعة اليسرى ه ى المكان الذى يرتدى فيه الناس عادة خواتم الزواج؛ والسلامية البعيد ة الخامسة تشكل طرف الإصبع الصغير. الأجزاء الثلاثة للسلامية هى نفسها فى عظم المشط: القاعدة، الجسم، والرأس. السطح الأمامى)ا لراحى(للسلامية مقعر قليلاً من الطرف إلى الطرف ومسطح من الجان ب إلى الجانب؛ أما السطح الخلفى فهو أكثر استدارة ومحدب قليلاً.

BEFORE YOU GO ON

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

15. صف كيف يمكن التمييز بين الطرفين الوسيط والجانبى لعظم ا لترقوة، وكيف يمكن التمييز بين السطوح العلوية والسفلية له.

16. سمِّ الحُفر الثلاثة للكتف ووصف موقع كل منها.

17. ما هى العظام الثلاثة التى تلتقى عند المرفق؟ حدد الحُفر، والأسط ح المفصلية، والنُتوءات فى هذه المفصل واذكر إلى أى عظم تنتم ى كل من هذه الميزات.

18. سمِّ العظام الرسغية الأربعة فى الصف القريب من الجانب الوح شى إلى الجانب الإنسى، ثم العظام الأربعة فى الصف البعيد بنف س الترتيب.

19. سمِّ العظام الطويلة الأربعة من طرف الإصبع الصغير إلى قاعدة اليد.

النهاية البعيدة لعظم الكعبرة لها الميزات التالية، من الجانبى إلى الوسيط:

1. نقطة عظمية، وهى النتوء الزغى، التى يمكن جسها قريبًا من الإبهام؛
2. تجويفين سطحيين)أسطح مفصلية(يتصلان مع عظمى الإسعافى والقمرى فى الرسغ؛ و
3. الالشق الزندى، الذى يتصل بنهاية عظم الزند.

عظم الزند

فى النهاية القريبة من عظم الزند)الشكل 8.35(يوجد شق عميق على شكل حرف C يُسمى الشق التروكلى يحيط بالتروكليا لعظم العضد. ا لجانب الخلفى من هذا الشق يتكون من نتوء بارز يُسمى الأوليكرانون — النقطة العظمية التى تستند عليها مرفقك على الطاولة. الجانب الأ مامى يتكون من نتوء أقل بروزًا يُسمى النتوء الإكليلى. على الجانب ا لجانبى، رأس عظم الزند يحتوى على شق شعاعى أقل وضوحًا، يستوع ب حافة رأس عظم الكعبرة. فى النهاية البعيدة)الرأس(لعظم الزند يو جد نتوء زغى وسطى. الكتل العظمية التى يمكنك جسها على كل جان ب من معصمك هى النتوءات الزغية لعظمى الكعبرة والزند. لاحظ أن "رؤوس" عظم الكعبرة والزند تقع فى نهايات متقابلة — النهاية القرى بة للكعبرة ولكن النهاية البعيدة للزند.

يرتبط عظم الكعبرة والزند على طول جذوعهما بواسطة رباط يُسم ى الغشاء بين العظام)IM)IN-tur-OSS-ee-us(، الذى يرتبط بحافة زاويّة تُسمى الهامش بين العظمى على كل عظم. معظم ألياف ا لغشاء بين العظام مائلة بشكل مائل، تميل صعودًا من الزند إلى الكع برة. إذا قمت بتمارين الضغط أو استندت إلى الأمام على طاولة داعمًا وزنك على يديك، يتحمل الكعبرة حوالى 80% من القوة. هذا يشد الغ شاء بين العظام، الذى يسحب الزند إلى الأعلى وينقل بعض هذه القوة عبر الزند إلى عظم العضد. وبذلك يمكّن الغشاء بين العظام مفصلين فى المرفق)المفصل العضدى الكعبرى والمفصل العضدى الزندى(م ن تقاسم الحمل؛ مما يقلل من التآكل والتمزق الذى كان سيتحمله م فصل واحد بمفرده. كما يعمل الغشاء بين العظام كمكان لارتكاز عدة ع ضلات فى الساعد.

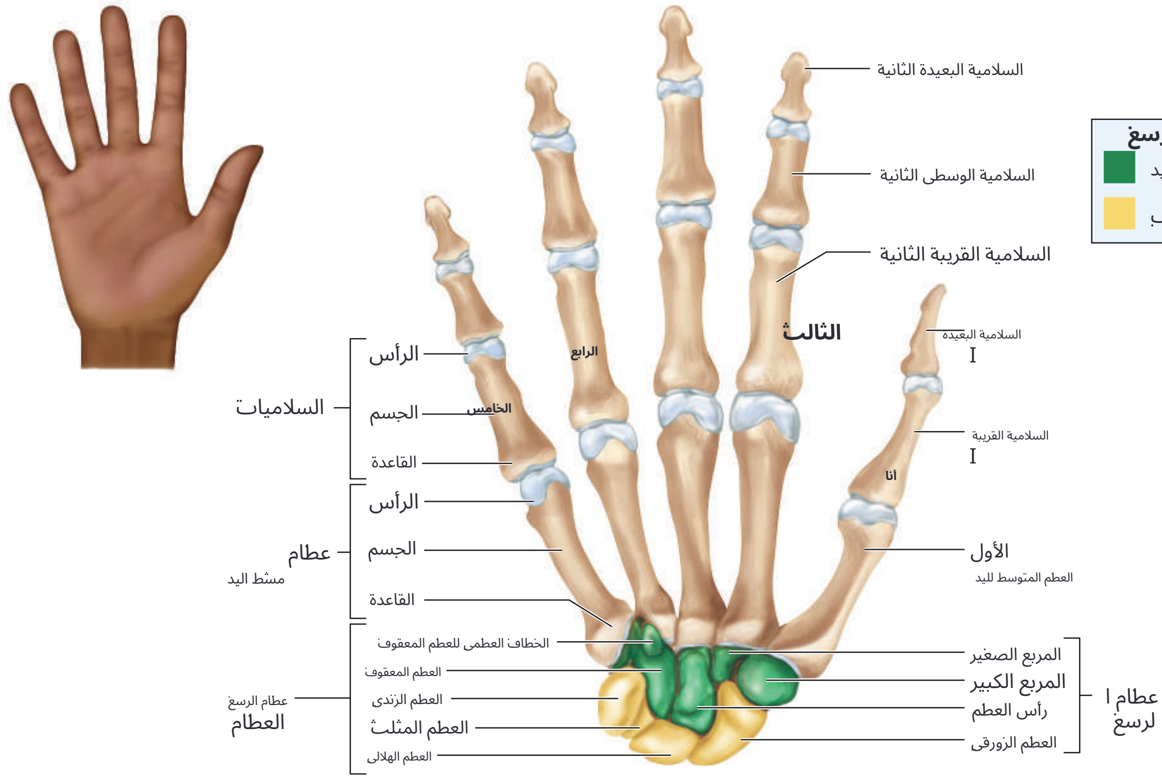
عظام الرسغ

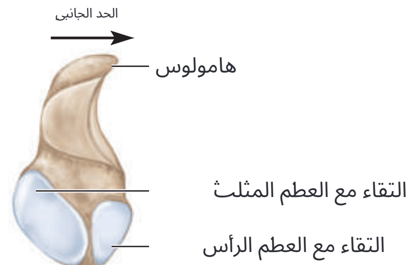
تُرتب عظام الرسغ فى صفين، كل صف يحتوى على أربعة عظام)الش كل 8.36(. تسمح عظام الرسغ القصيرة بحركات اليد من جانب إلى آخ ر ومن الأمام إلى الخلف. عظام الرسغ فى الصف القريب، بدءًا من الح انب الوحشى)الإبهام(، هى العظم الزورقى، العظم الهلالى، العظم الم ثلثى)tri-QUEE-trum(، وعظم البزوى)PY-sih-form(— والتى تع نى على التوالى على شكل قارب، قمر، مثلث، وبازلاء. على عكس عظا م الرسغ الأخرى، عظم البزوى هو عظم سمسمانى؛ فهو غير موجود عن د الولادة ولكنه يتطور حوالى سن 9 إلى 12 سنة داخل وتر عضلة ثنى ا لرسغ الزندى.

عظام الصف البعيد، بدءًا مرة أخرى من الجانب الجانبى، هى العظم ا لمربع[55] العظم شبه المنحرف، العظم الرأسى،[56] و العظم الخطافى.[57]

[55] trapez= طاولة، سطح طحن
[56] capit= رأس؛ ate= امتلاك
[57] هم = خطاف؛ أتى = يمتلك

[58] meta= ما بعد؛ carp = الرسغ







الشكل 8.36 اليد اليمنى.)أ(عظام الرسغ ملونة لتمييز الصفوف القريبة وال بعيدة.)ب(عظم الهامات الأيمن، مرئى من الجانب الراحى لإظهار خطافه الم ميز. هذا العظم الفريد هو علامة مفيدة لتحديد العظام الأخرى عند دراسة الهيك ل العظمى.)ح(صورة أشعة ليد بالغ. حدد العظام غير الموسومة فى صورة الأ شعة بمقارنتها بالرسم فى الجزء)أ(. عظم سمسم صغير مرئى عند قاعدة الإبهام. عظم البيسيفورم فى الجزء)أ(هو أيضًا عظم سمسم.

APR

كيف يختلف الجزء)ح(عن صورة أشعة يد طفل فى الشكل 7.11؟

ح: RNHRD NHS Trust/Getty Images

وفقًا لكتاب *تشريح غراي* و *المصطلحات التشريحية*، يُعتبر الحزام الحوضي مكونًا من حلقة كاملة تتألف من ثلاثة عظام)الشكل 8.37(— عظمتان الورك)عظمتا الحوض(والعجز)الذي، كما تعلم، هو أيضًا جزء من العمود الفقري(. تُسمى عظام الورك أيضًا غالبًا *ossa coxae*[59])أوسا كوكسي(.
الحوض[60] هو هيكل على شكل وعاء يتكون من هذه العظام بالإضافة إلى الأربطة والعضلات التي تبطن تجويف الحوض وتشكل أرضيته. يدعم الحزام الحوضي الجذع على الأطراف السفلية ويحيط ويحمي الأحشاء الموجودة في تجويف الحوض — وخاصة القولون السفلي، والمثانة البولية، والأعضاء التناسلية الداخلية.
كل عظم حوض متصل بالعمود الفقري عند نقطة واحدة، وهي ال مفصل العجزي الحرقفي، حيث تتطابق سطحه الأذني الشكل السطح ي الأذني مع السطح الأذني للعجز. يتصل عظما الحوض مع بعضهما ا لبعض على الجانب الأمامي من الحوض، حيث يرتبطان بواسطة وسا دة من الغضروف الليفي تسمى بين العانة

[59] os = عظم؛ coxae = الورك
[60] الحوض = حوض، وعاء

8.5 الحزام الحوضي والطرف السفلي

نتائج التعلم المتوقعة

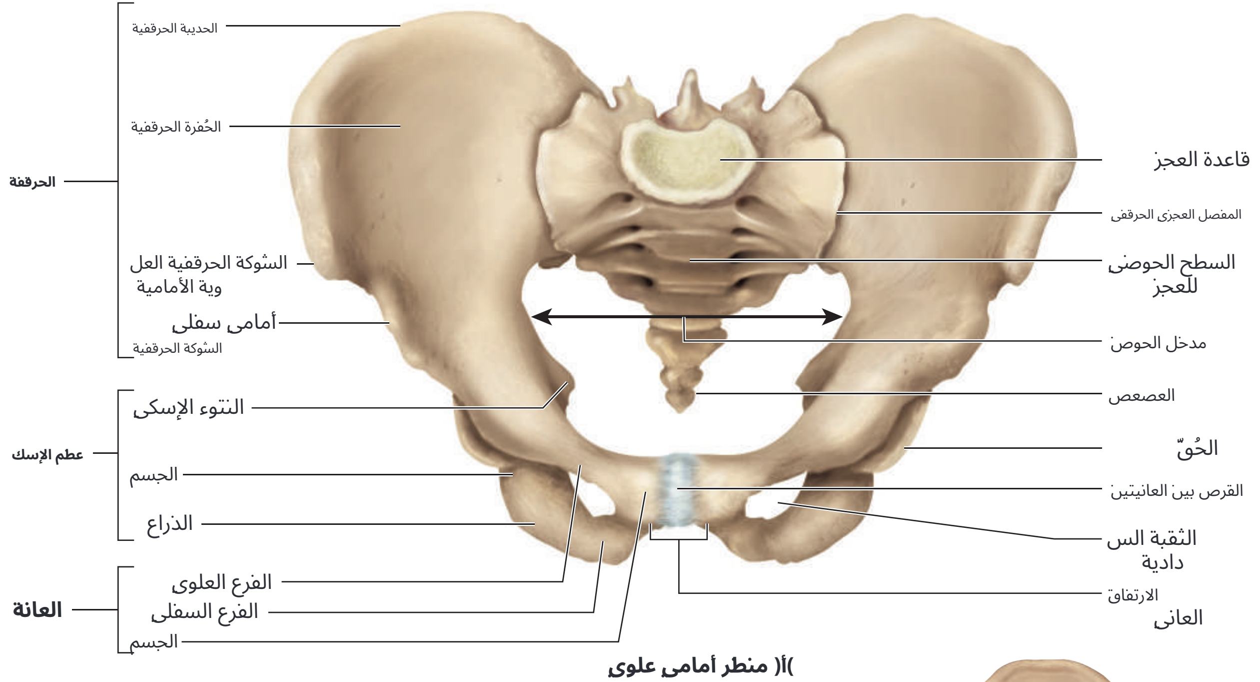
عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. تحديد ووصف مميزات الحزام الحوضي، عظم الفخذ، الرضفة، الظنبوب، الشظية، وعظام القدم؛ و

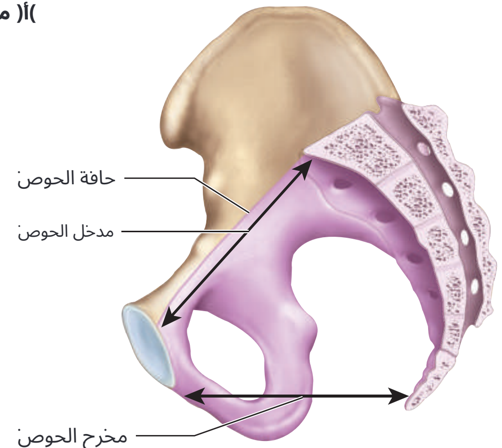
ب. قارن تشريح حزام الحوض لدى الذكر والأنثى وشرح الأهمية ا لوظيفية للاختلافات.

8.5a الحزام الحوضي

تُستخدم مصطلحات *الحوض* و *الحزام الحوضي* بطرق متناقضة من قبل مختلف السلطات التشريحية. هنا سنتبع الممارسة



)أ(منظر أمامي علوي



)ب(المقطع الوسيط

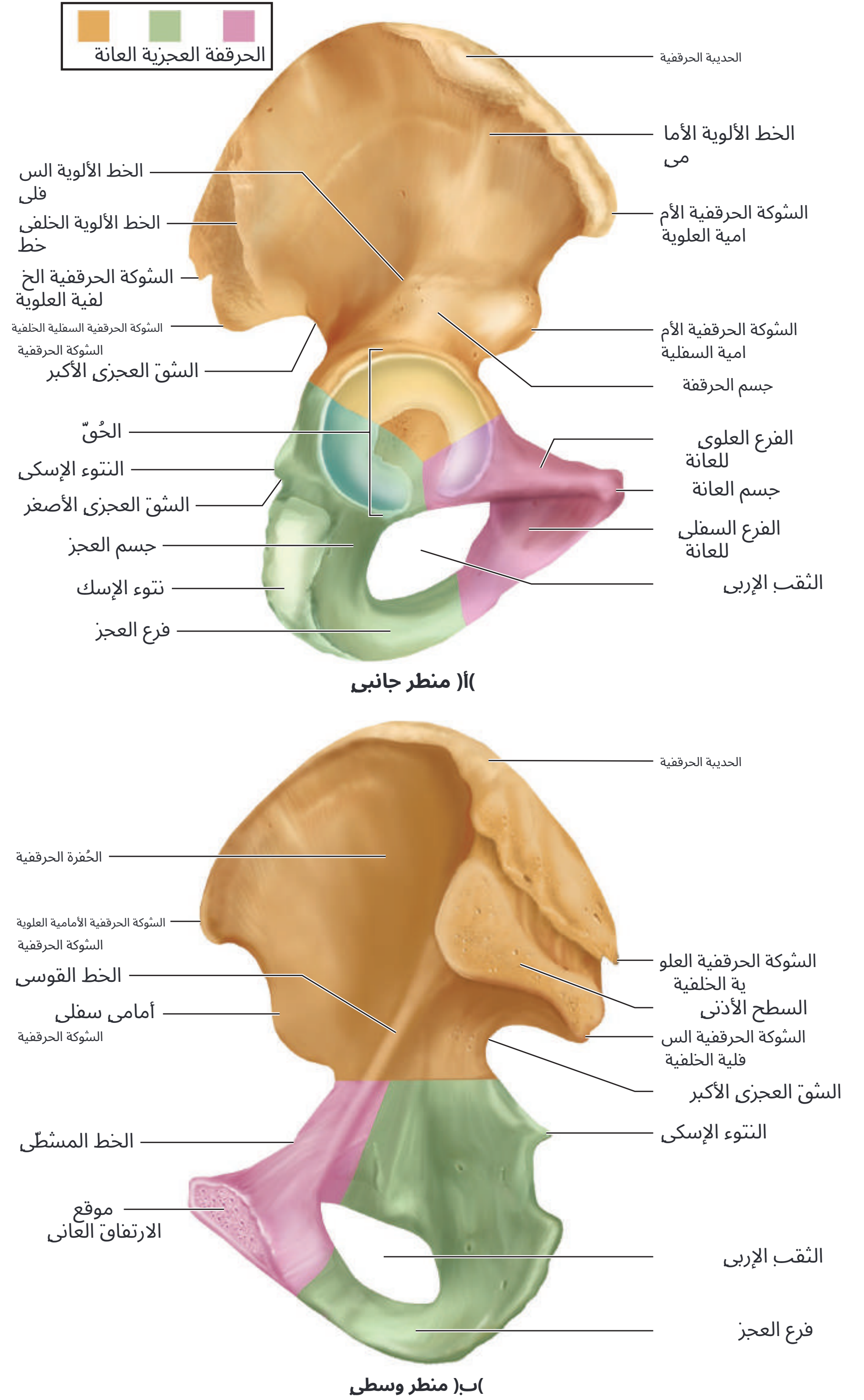
الشكل 8.37 الحزام الحوضي.)أ(منظر أمامي علوي، مائل بشكل طفيف نحو المشاهد لإظهار قاعدة العجز ومداخل الحوض.)ب(المقطع الوسيط، لإظهار الحوض الأكبر والأصغر ومداخل ومخارج الحوض. APR

القرص. يشكل القرص والمنطقة المجاورة لكل عظم ع
انى الارتفاق العانى،[61] الذى يمكن لمسه كحدبة صلبة م
باشرة فوق الأعضاء التناسلية.

ينقسم الحوض إلى الحوض الأكبر الحوض الكاذب
الواسع بين اتساع الوركين والحوض الأصغر الحوض ا
لحقيقى الأضيق أدناه. ويفصل بينهما هامش دائرى ى
سمى حافة الحوض.
الفتحة المحاطة بالحافة تسمى مدخل الحوض— وهو
مدخل إلى الحوض الأصغر يمر من خلاله رأس الطفل أ
ثناء الولادة. والهامش السفلى للحوض الأصغر يسمى
مخرج الحوض، الذى يخرج منه الطفل من الحوض عند
انتهاء الولادة.

عظام الورك لها ثلاث ميزات مميزة تعمل كنقاط
مرجعية لوصفها بشكل أكبر. هذه هى العرف الحرقفى
الحد الأعلى للورك([62]؛ الحُقّ[63] (ASS-eh-TAB-you
-lum) (مقبس الورك—سُمى بذلك لتشاب
ه شكله مع أكواب الخل المستخدمة على موائد الطعا
م الرومانية القديمة(؛ و الثقب السدادى[64] ثقب كبير
يتراوح شكله بين الدائرى والمثلث أسفل الحُقّ، مغلق
بواسطة رباط يُسمى الغشاء السدادى فى الأشخاص
الأحياء(.
يتكون عظم الورك البالغ من اندماج ثلاثة عظام ط
فولية تُسمى *الحرقفة*)إيليوم(، *العجزية*)إسكيوم(، و
العانة)بوبس(، محددة بالألوان فى الشكل 8.38. هذ
ه المراكز الثلاثة لا تندمج تمامًا لتشكل عظم ورك واح
د حتى سن 15 إلى 25 سنة. أكبرها هو الحرقفة، التى
تمتد من الحدبة الحرقفية إلى مركز التجويف الحقوى.
تمتد الحدبة الحرقفية من نقطة أمامية أو زاوية تسمى
الشوكة الحرقفية الأمامية العلوية إلى زاوية خلفية حا
دة تسمى الشوكة الحرقفية الخلفية العلوية. فى الشخ
ص النحيف، تشكل الشوكات الحرقفية الأمامية العلو
ية بروزات أمامية مرئية عند النقطة التى تفتح عندها ع
ادة جيوب الأمام على زوج من السراويل، وأحيانًا تُميز ا
لشوكات الحرقفية الخلفية العلوية بوجود غمازات فوق
الأرداف حيث تسحب الأنسجة الضامة المرتبطة بال
شوكات الجلد إلى الداخل)انظر الأطلس B، الشكل B.
15(. هذا الأخير هو سمة وراثية مثل غمازات الخد.

أسفل الشوكات العلوية توجد الشوكات الحرقفية ا
لأمامية و الشوكات الحرقفية السفلية الخلفية. أسفل ا
لأخيرة يوجد شق عميق العطم الوركى الأكبر)سى-أتيك(
، سُمى على اسم العصب الوركى السميك الذى يمر من
خلاله ويستمر نزولًا على الجانب الخلفى للفخذ.
السطح الخلفى الجانبى للحرقفة ذو نسيج خشن
نسبيًا لأنه يُستخدم لارتباط عدة عضلات من الأرداف و
الفخذين. بالمقابل، السطح الأمامى الوسيط هو التجو
يف الحرقفى الأملس والمقعر قليلاً، الحفرة الحرقفية،
المغطاة فى الجسم الحى بعضلة *الحرقفية* العريضة.
من الناحية الوسطية، تظهر الحرقفة سطحًا أذنيًا يتطابق مع السطح ا
لموجود على العجز، بحيث يشكل العظمان معًا مفصل العجز الحرقف
ى)SI(.
العجزية هى الجزء السفلى الخلفى من عظم الورك.
جسمها الثقيل الجسم يتميز بشوكة عجزية بارزة. أسفلها



الشكل 8.38 عظم الورك الأيمن.)أ(منظر جانبى.)ب(منظر وسطى. العظام الثلاثة الطفولية التى تندمج لتشكل عظم الورك البالغ محددة بالألوان وفقًا للمفتاح. APR

[61] *الارتفاق* = معًا؛ *الفسيس* = النمو
[62] *الخاصرة* = الجانب، الخاصرة؛ *التابع* = متعلق بـ
[63] *الحُقّ* = كأس الخل
[64] *الإغلاق* = الإغلاق، السد؛ *الفاعل* = الذى يقوم بـ

يمتد رباط من الحُقّ إلى حفرة، تُسمى **fovea capitis** (FOE-vee-uh CAP-ih-tiss)[65]، فى رأس عظم الفخذ. أسفل الرأس يوجد عنق ضيق ثم نتوءان كبيران وخشنان يسميان **greater** و **lesser trochanters**[66] (tro-CAN-turs)، وهما مواقع ارتكاز للعضلات القوية فى الورك. النتوءات متصلة من الخلف بحافة عظمية مائلة سميكة تُسمى **intertrochanteric crest,** ومن الأمام بخط أدق يُسمى **intertrochanteric line.**

الميزة الأساسية للجسم هى حافة خلفية تُسمى **linea aspera**[67] (LIN-ee-uh ASS-peh-ruh) فى منتصفه. فى نهايته العلوية، يتفرع الخط إلى خط لولبى (pectineal) إنسى وخط gluteal tuberosity جانبى. الخط الجانبى هو حافة خشنة (وأحيانًا تجويف) تُستخدم لارتكاز عضلة *gluteus maximus* القوية فى الأرداف. فى نهايته السفلية، يتفرع خط linea aspera إلى خطوط فوق اللقيمة **medial** و **lateral,** التى تمتد إلى اللقمتين المقابلتين.

النتوءات **medial** و **lateral epicondyles** هى أوسع نقاط فى عظم الفخذ، ويمكن تحسسها بسهولة عند الركبة. هذه الخطوط والنتوءات هى مواقع ارتكاز لبعض عضلات الفخذ والساق وأربطة الركبة. فى نهاية عظم الفخذ البعيدة توجد سطحان دائريان ناعمان لمفصل الركبة، هما **medial** و **lateral condyles,** مفصولان بحفرة تُسمى **intercondylar fossa** (IN-tur-CON-dih-lur). أثناء ثنى الركبة ومدها، تتأرجح اللقمتان على السطح العلوى للظنبوب. فى الجانب الأمامى لعظم الفخذ، يوجد تجويف إنسى ناعم يُسمى **patellar surface** يتصل بالرضفة. فى الجانب الخلفى توجد منطقة مسطحة أو منخفضة قليلاً تُسمى **popliteal surface.**

الرضفة

الرضفة،68 أو صابونة الركبة (الشكل 8.40)، هى عظمة سمسمية ثلاثية الشكل تقريبًا مضمنة فى وتر الركبة. تكون غضروفية عند الولادة وتتكلس بين سن 3 إلى 6 سنوات. لها قاعدة علوية عريضة، وقمة سفلية مدببة، وزوج من الأسطح المفصلية الضحلة على سطحها الخلفى حيث تتصل بعظمة الفخذ. السطح الجانبى عادةً ما يكون أكبر من السطح الإنسى. يمتد وتر عضلة الفخذ الرباعية من عضلة الفخذ الرباعية الأمامية إلى الرضفة، ويستمر كرباط رضفى من الرضفة إلى عظمة الظنبوب. هذا تغيير فى المصطلحات أكثر منه تغيير فى التركيب أو الوظيفة، حيث يربط الوتر العضلة بالعظم ويربط الرباط العظم بالعظم. بسبب الطريقة التى يلتف بها وتر الفخذ الرباعى حول الرضفة، تعمل الرضفة مثل بكرة، مغيرة اتجاه السحب بواسطة عضلة الفخذ الرباعية. هذا

يحسن كفاءتها فى فرد الركبة، ومن ثم كفاءة المشى والجرى.

عظمة الظنبوب

الساق تحتوى على عظمتين: عظمة ظنبوب سميكة وقوية (TIB-ee-uh) على الجانب الإنسى وعظمة شظية رفيعة (FIB-you-luh) على الجانب الوحشى

[65] *fovea*= حفرة؛ *capitis* = الرأس
[66] *trochanter* = للركض
[67] *linea* = خط؛ *asper* = خشن
[68] *pat* = مقلاة؛ *ella* = صغير

يحتوى على انحناء طفيف، وهو الناتئ العجزى الصغير، ثم النتوء الإسكيلى السميك ذو السطح الخشن، الذى يدعم جسمك عندما تكون جالسًا. يمكن تحسس هذا النتوء بالجلوس على أصابعك. الذراع من العجز ينضم إلى الذراع السفلى من العانة فى الأمام.

العانة (عظم العانة) هى الجزء الأمامى الأكثر فى عظم الحوض. فى الوضع التشريحى، تكون شبه أفقية وتعمل كمنصة للمثانة البولية. لها ذراع علوى وذراع سفلى وجسم مثلث الشكل. يلتقى جسم عظمة العانة الواحدة بجسم الأخرى عند الارتفاق العانى. تحيط العانة والعجز بفتحة العصب الحرقفى. غالبًا ما تتعرض العانة للكسر عندما يتعرض الحوض لضغط عنيف من الأمام إلى الخلف، كما فى إصابات حزام الأمان فى المركبات.

الحوض هو الجزء الأكثر *تمييزًا جنسيًا* فى الهيكل العظمى — أى الجزء الذى يختلف تشريحيًا بشكل أكبر بين الجنسين. عند تحديد جنس بقايا الهيكل العظمى، يركز علماء الطب الشرعى بشكل خاص على الحوض ولكن أيضًا على العديد من العظام الأخرى.
الحوض الذكرى المتوسط أكثر صلابة (أثقل وأسمك) من الحوض الأنثوى بسبب القوى التى تمارسها العضلات الأقوى على العظام. الحوض الأنثوى متكيف مع احتياجات الحمل والولادة. فهو أوسع وأقل عمقًا وله مدخل ومخرج حوضى أكبر لمرور رأس الطفل. الجدول 8.5 والشكل 8.39 يلخصان أهم خصائص الحوض فى تحديد الجنس.

8.5ب الطرف السفلى

عدد وترتيب العظام فى الطرف السفلى مشابهة لتلك فى الطرف العلوى. ومع ذلك، فى الطرف السفلى، فهى متكيفة لتحمل الوزن والحركة، ولذلك فهى مصممة وموصولة بشكل مختلف. عظم الفخذ وعظم الساق هما فى الأساس دعامات لدعم وزن الجسم.

كل طرف سفلى يحتوى على 30 عظمة موزعة فى الأقسام الثلاثة التالية.

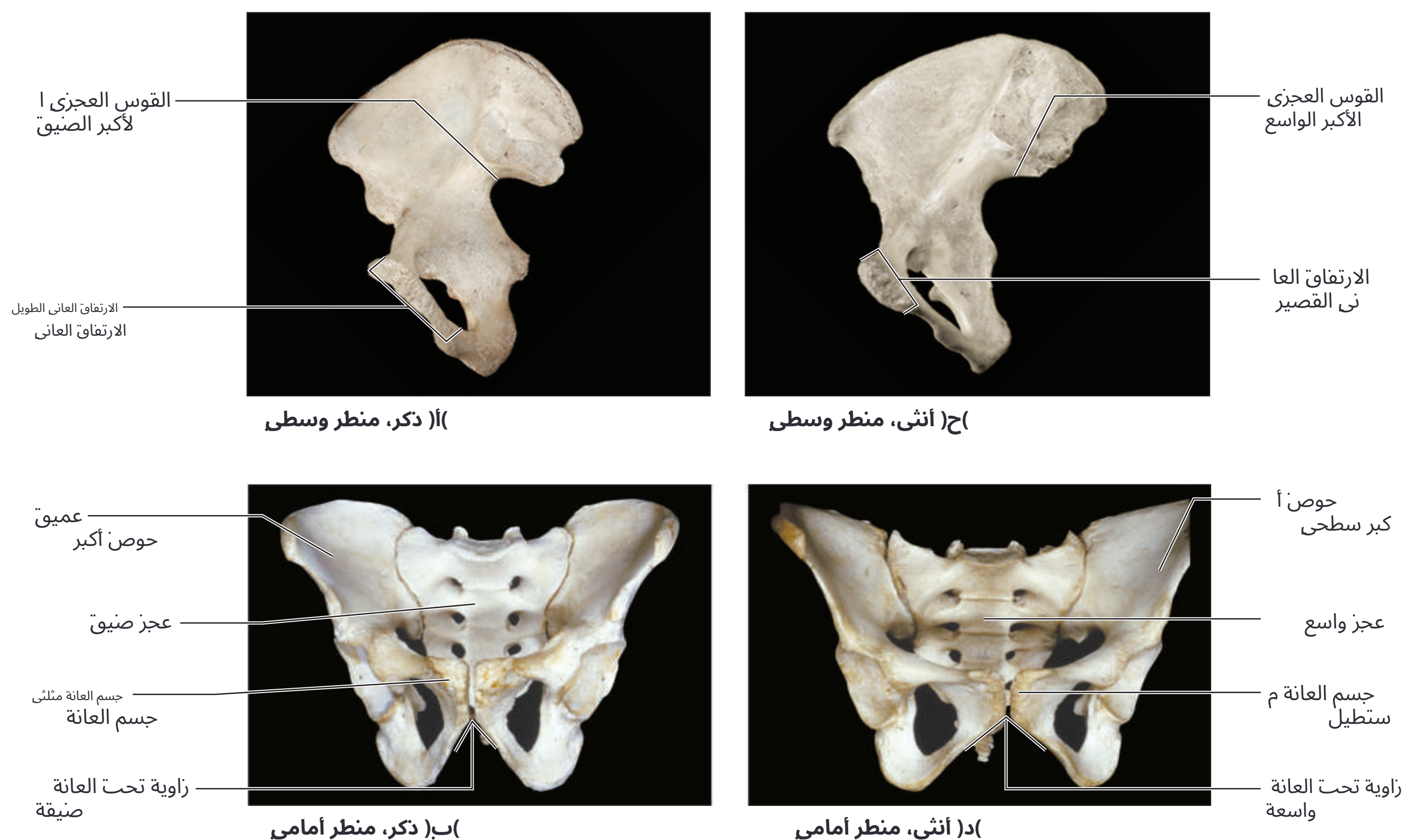
1. يمتد الفخذ (منطقة الفخذ) من الورك إلى الركبة ويحتوى على *عظم الفخذ*. عظمة *الرضفة* (صابونة الركبة) هى عظمة سمسمية عند تقاطع منطقتى الفخذ والساق.
2. الساق الحقيقية (منطقة الساق) تمتد من الركبة إلى الكاحل وتحتوى على عظمتين، الظنبوب *الإنسى* والقصبة *الجانبية*.
3. القدم تتكون من منطقة الرسغ، التى تحتوى على 7 عظام رسغية تمتد من الكعب إلى منتصف قوس القدم؛ منطقة مشط القدم، التى تحتوى على 5 عظام تمتد من هناك إلى "كرات" القدمين بالقرب من الأصابع؛ و الأصابع (الأصابع)، التى تحتوى على 14 عظمة. القدمين واليدين معًا تحتويان على أكثر من نصف عظام الجسم كلها (106 من إجمالى 206).

عظم الفخذ

عظم الفخذ (FEE-mur) هو أطول وأقوى عظم فى الجسم، ويبلغ طوله حوالى ربع طول الشخص (الشكل 8.40). له رأس نصف كروى يتصل بحُقّ الحوض (acetabulum) مكونًا مفصلًا كرويًا *ball-and-socket joint* أساسيًا.

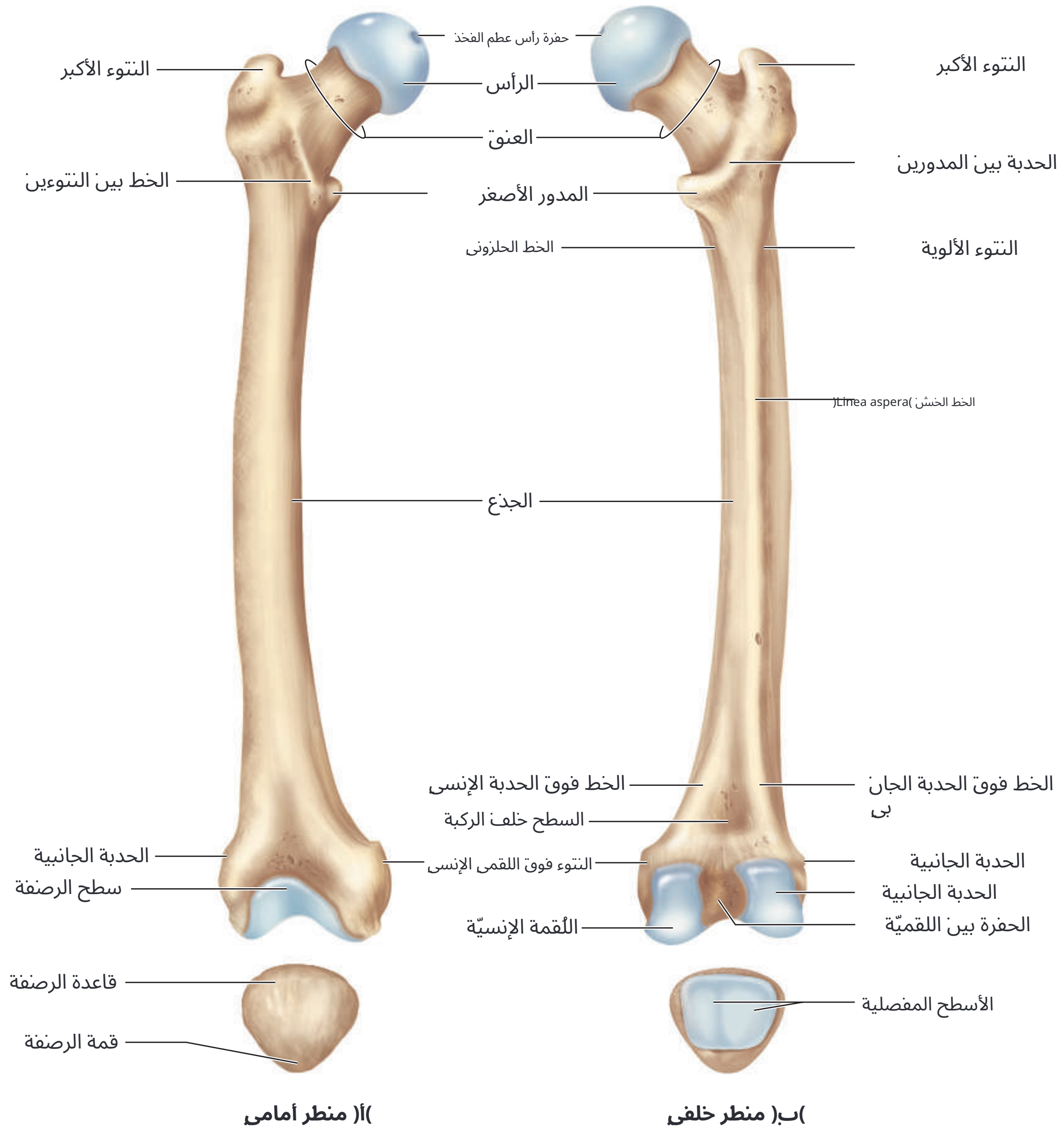
الجدول 8.5 مقارنة بين حزام الحوض للذكور والإناث

الميزة	ذكر	أنثى
المطهر العام	أكثر ضخامة؛ أكثر خشونة؛ عمليات أثقل	أقل ضخامة؛ أكثر نعومة؛ عمليات أكثر دقة
ميل	النهاية العلوية للحوض عمودية نسبياً	النهاية العلوية للحوض مائلة إلى الأمام
عمق الحوض الأكبر	أعمق؛ الحرقفة تبرز أبعد فوق المفصل العجزي الحرقفي	أقل عمقًا؛ العطم الحرقفي لا يبرز فوق مفصل العجز ا لحرقفي
عرض الحوض الأكبر	الوركان أقل اتساعًا؛ الأشواك العلوية الأمامية أقرب إلى بعضها	الوركان أكثر اتساعًا؛ الأشواك العلوية الأمامية أبعد عن بعضها
مدخل الحوض	على شكل قلب	دائري أو بيضاوي
مخرج الحوض	أصغر	أكبر
زاوية تحت العانة	أضيق، عادة 90 درجة أو أقل	أعرض، عادة 100 درجة أو أكثر
الارتفاق العاني	أطول	أقصر
جسم العانة	أكثر مثلثية	أكثر مستطيلية
الشق العجزي الأكبر	أضيق	أعرض
الثقب الإربي	أكثر استدارة	أكثر بيضاوية إلى مثلثية
الحُقّ	أكبر، يواجه الجانب الجانبي أكثر	أصغر، يواجه الأمام قليلاً
العجز	أضيق وأعمق	أعرض وأقل عمقًا
العصعص	أقل حركة؛ أكثر عمودية	أكثر حركة؛ مائل إلى الخلف



الشكل 8.39 مقارنة بين حزام الحوض للذكور والإناث.)أ(ذكر، منظر وسطى.)ب(ذكر، منظر أمامى.)ح(أنثى، منظر وسطى.)د(أنثى، منظر أمامى. قارن مع الجدول 8.5.

)أعلى، كلاهما(: ديفيد هانت/عينات من المتحف الوطنى للتاريخ الطبيعى، مؤسسة سميثسونيان؛)أسفل، كلاهما(: فيديو سيرجرى/ساينس سورس



الشكل 8.40 عظم الفخذ الأيمن والرضفة.
(أ) منظر أمامى.
(ب) منظر خلفى. APR

(الشكل 8.41). عظم الطنبوب هو العظم الوحيد الحامل للوزن فى منطقة الساق. رأسه العلوى العريض يحتوى على سطحين مفصليين مسطحين إلى حد ما، وهما اللقمتان الوسطى و الجانبية، مفصولتان بحافة تسمى الحدبة بين اللقمتين. يُطلق على هذا السطح العلوى للطنبوب غالبًا اسم *هضبة الطنبوب*. تلتحم لقمتا الطنبوب مع لقمتى عظم الفخذ. السطح الأمامى الخشن للجزء العلوى من الطنبوب، نتوء الطنبوب، يمكن لمسه أسفل الرضفة مباشرةً.

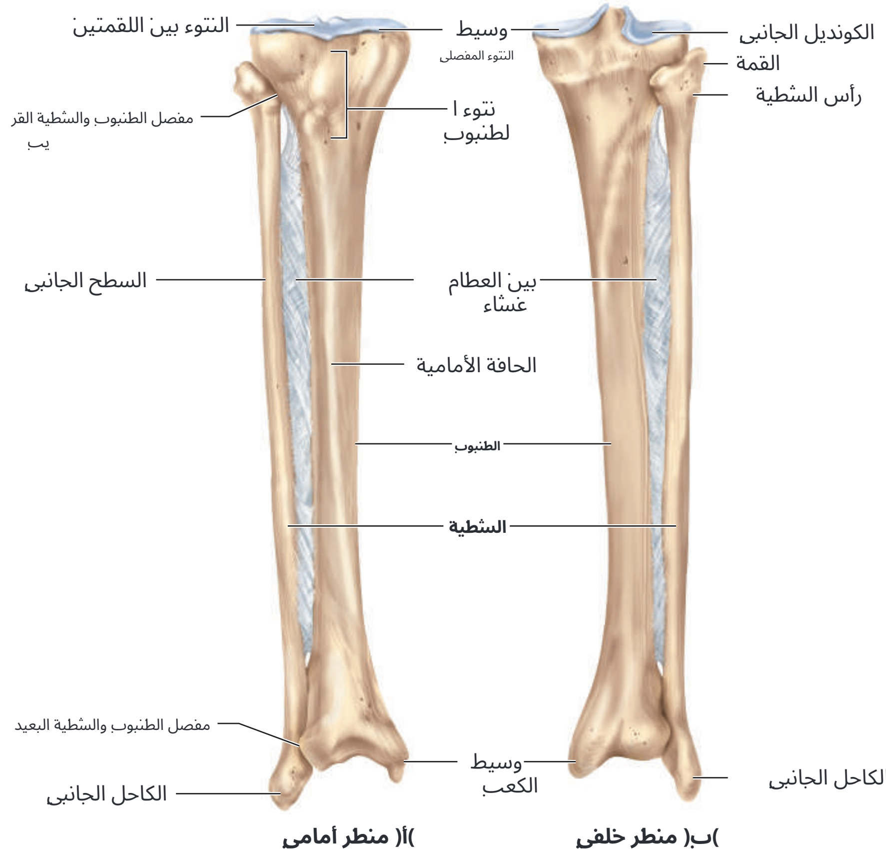
هذا هو موضع ارتكاز لعضلات الفخذ القوية التى تقوم بتمديد (تثبيت) الركبة. أسفل هذا، يحتوى الجذع على الحد الأمامى الحاد الزاوية، والذى يمكن لمسه فى الساق. عند الكاحل، فوق حافة الحذاء الرسمى القياسى مباشرةً، يمكنك أن تشعر بعقدة عظمية بارزة على كل جانب. هذه هى الكعبان الوسيط و الجانبى (malleoli(69 (مالى-أوه-لى). الكعب الوسيط هو جزء من الطنبوب، والكعب الجانبى هو جزء من الشطية.

الشطية

الشطية70 (الشكل 8.41) هى دعامة جانبية نحيلة تساعد على تثبيت الكاحل. لا تتحمل أى وزن من وزن الجسم؛ فى الواقع، يقوم جراحو العظام أحيانًا بإزالة جزء من الشطية واستخدامه لاستبدال العظم التالف أو المفقود فى أماكن أخرى من الجسم. الشطية أكثر سمكًا وعرضًا قليلاً عند نهايتها القريبة، وهى الرأس، مقارنةً بالنهاية البعيدة. يُسمى رأسها القمة. التوسع البعيد هو الكعب الجانبى. مثل عظم الكعبرة وعظم الزند، ترتبط الطنبوب والشطية بغشاء بين عظمى على طول جذعهما، وبأربطة أقصر عند النهايات العلوية والسفلية حيث يتلامس رأس وقمة الشطية مع الطنبوب.

[69] *malle* = مطرقة؛ *olus* = صغير

[70] *fibula* = دبوس صغير أو مشبك؛ من دبوس الملابس فى اليونان وروما القديمة



الشكل 8.41 الطنبوب والشطية اليمنى.
APR)أ(منظر أمامى.)ب(منظر خلفى.

الكاحل والقدم

عظام الرسغ فى الكاحل مرتبة فى مجموعات قريبة وبعيدة تشبه إلى حد ما عظام الرسغ فى المعصم)الشكل 8.42(.
نظرًا للدور الحامل للوزن للكاحل، فإن أشكالها وترتيبها تختلف بشكل واضح عن عظام الرسغ، وهى مدمجة بالكامل فى هيكل القدم. أكبر ع طمة فى عظام الرسغ هى العقب)calcaneus(كال-كاى-نيوس([71]، وهى عظمة الكعب. الطرف الخلفى لها هو نقطة اتصال وتر العقب)و تر أخيل(القادم من عضلات الساق. ثانى أكبر عظمة فى عظام الرسغ، والأعلى منها، هى العقب)talus(. لها ثلاث أسطح مفصلية: سطح سفلى خلفى يتصل بالعقب، وسطح علوى تروكلير يتصل بعظمة ال طنبوب، وسطح أمامى يتصل بعظمة رسغ قصيرة وعريضة تسمى الع طم الزورقى)navicular(.[72] يُعتبر العقب والعقب والعظم الزورقى ال صف القريب من عظام الرسغ.

كما هو الحال مع المعنى العام مقابل المعنى التشريحى لـ *الرسغ (wrist)*، يختلف المعنيان لكلمة *الكاحل (ankle)*. بشكل عام، يفكر معظمنا فيه كنقطة ضيقة يمكن ارتداء سوار الكاحل فوق النتوءات ال كعبية)malleoli(. أما تشريحيًا، فيعنى المنطقة الأبعد حيث تتصل ع طمة الطنبوب بالعقب.
تشكل المجموعة البعيدة صفًا من أربع عظام. بدءًا من الجانب الإ نسى إلى الوحشى، هذه هى العظام الإسفينية الإنسى، والوسطى، و العظام الإسفينية الوحشية)lateral cuneiforms(كيو-نى-فورمز([73] و العظم المكعب)cuboid(. ا لعظم المكعب هو الأكبر.

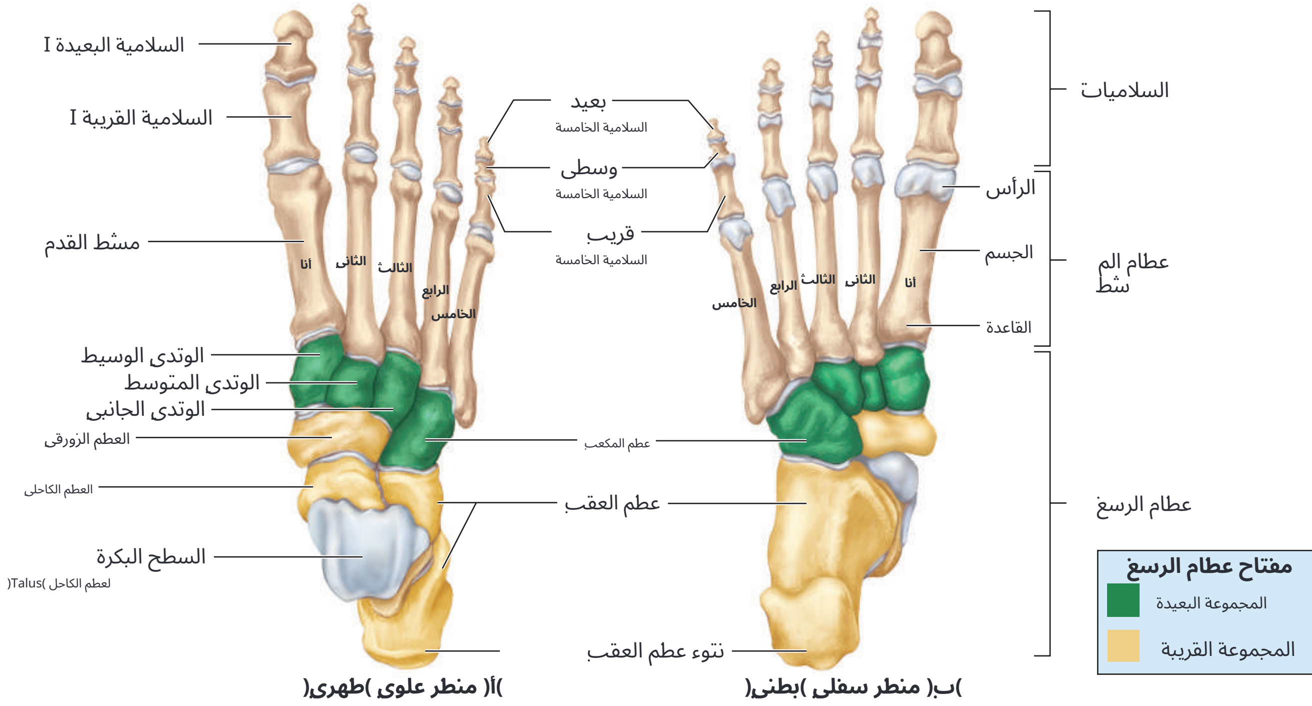
طبق ما تعرفه

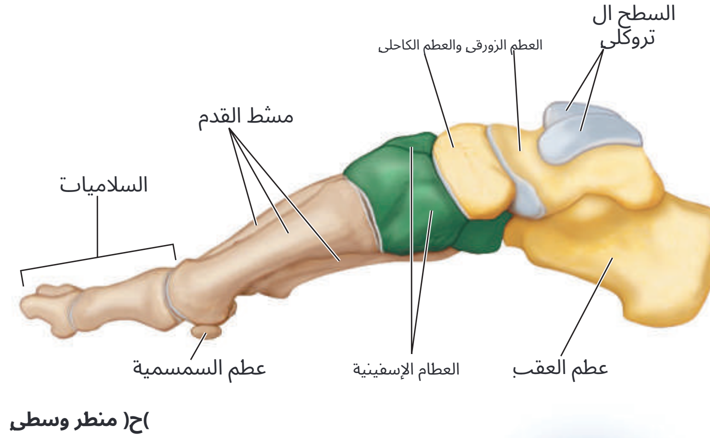
تحتوى الأطراف العلوية والسفلية كل منها على 30 عظمة، ومع ذ لك لدينا 8 عظام رسغ فى الطرف العلوى و7 عظام رسغ فقط فى الطرف السفلى. ما الذى يشكل الفرق فى الطرف السفلى؟

العظام المتبقية فى القدم مشابهة فى الترتيب والاسم لتلك الموج ودة فى اليد. العظام القريبة المشطية)metatarsal([74] مشابهة للعظام المشطية فى اليد. وهى المشطية I حتى V من الجانب الإنسى إلى الو حشى، حيث تكون المشطية I قريبة من إصبع القدم الكبير.
المشطيات من I إلى III تتصل بالعظام الإسفينية من الأول إلى الثال ث؛ المشطيات IV وV كلاهما يتصل بالعظم المكعب.
عظام أصابع القدم، مثل أصابع اليد، تسمى السلاميات)phalan ges(. يحتوى الإصبع الكبير على عظمتين فقط، ال سلامية القريبة والبعيدة I. أما الأصابع الأخرى فتحتوى كل منها على سلامية قريبة ووسطى وبعيدة، وترقم من II إلى V من الجانب الإنسى إلى الوحشى. وبالتالى، فإن السلامية الوسطى V، على سبيل المثال، ستكون العظمة الوسطى لأصغر إصبع. لكل من عظام المشط والسلام يات قاعدة وجسم ورأس، مثل عظام اليد. جميعها، وخاصة السلاميا ت، مقعرة قليلاً على الجانب السفلى)البطنى(.

---

[71] *calc* = حجر، طباشير
[72] *navi* = قارب؛ *cul* = صغير؛ *ar* = مثل
[73] *cunei* = إسفين؛ *form* = على شكل
[74] *meta* = ما وراء؛ *tars* = كاحل



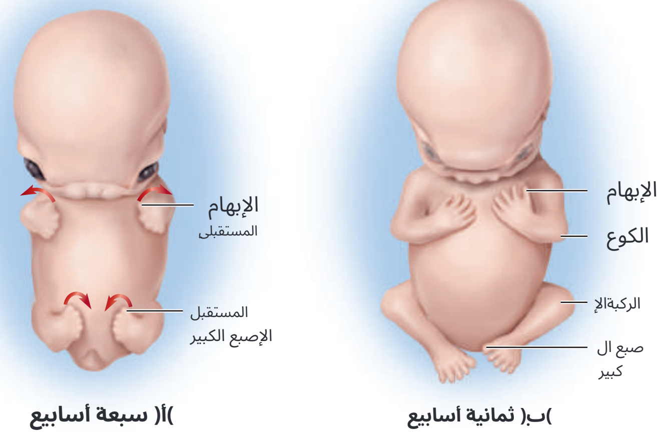


الشكل 8.42 القدم اليمنى. (أ) منظر علوى (ظهرى). (ب) منظر سفلى (بطنى). (ح) منظر وسطى. APR

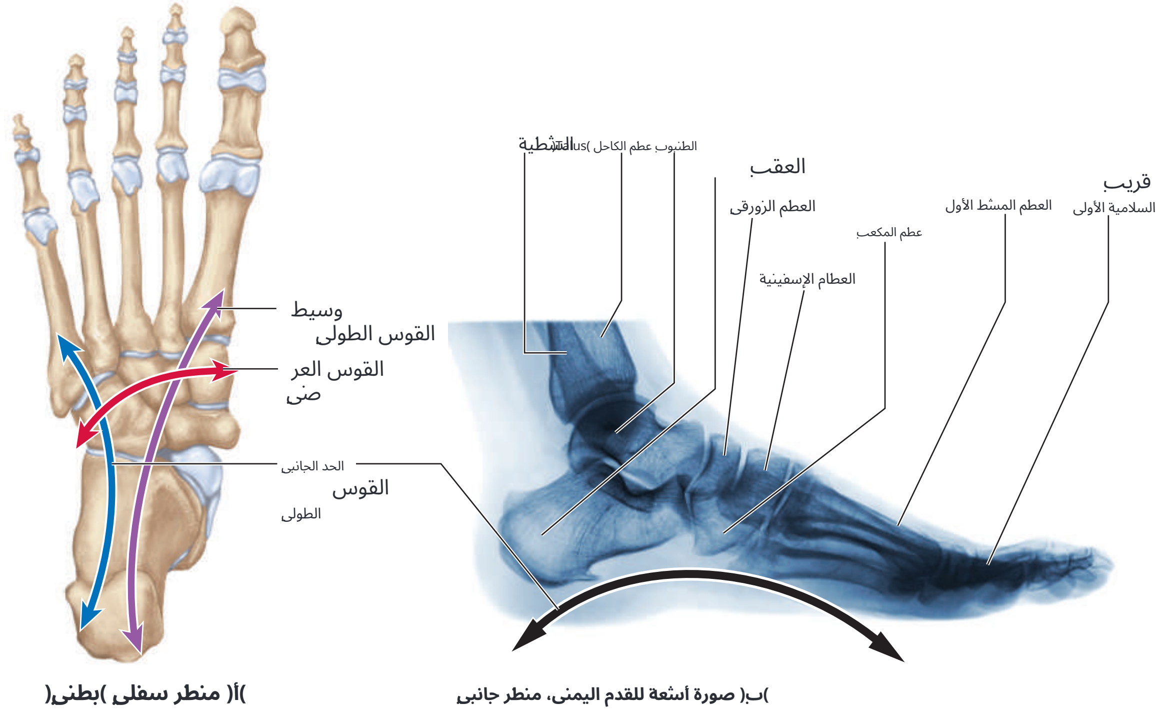
قارن بين عظام الرسغ وعظام الكاحل. أى منها متشابهة فى الموقع؟ وأى منها مختلفة؟

لاحظ أن الرقم الرومانى I يمثل المجموعة *الوسطى* من العظام فى القدم ولكنه يمثل المجموعة *الجانبية* فى اليد. فى كلتا الحالتين، مع ذلك، يشير إلى أكبر إصبع فى الطرف. سبب الاختلاف بين اليد والقدم يكمن فى دوران الأطراف الذى يحدث فى الأسبوع السابع من التطور الجنينى.

فى وقت مبكر من ذلك الأسبوع، تمتد الأطراف إلى الأمام من الجسم، والقدم تكون لوحة قدم تشبه المجداف، و لوحة اليد أيضًا أكثر أو أقل تشبه المجداف مع ظهور براعم الأصابع التى تظهر انفصالًا مبكرًا (الشكل 8.43أ). الإبهام المستقبلى وأصبع القدم الكبير كلاهما موجهان إلى الأعلى، وكفوف اليدين وأخمص القدمين المستقبليين تواجه بعضها البعض من الداخل. لكن بعد ذلك يدور كل طرف حوالى 90° فى اتجاهين متعاكسين.



الشكل 8.43 دوران الأطراف الجنينية. (أ) دوران اليدين والقدمين فى اتجاهين متعاكسين فى الأسبوع السابع. (ب) الاتجاه الناتج لليدين والقدمين الذى يتحدد بحلول الأسبوع الثامن.



الشكل 8.44 أقواس القدم.)أ(منظر سفلى)بطنى(.)ب(صورة أشعة للقدم اليمنى، منظر جانبى.

أربطة قصيرة وقوية. يمكن أن يؤدى الوزن الزائد، أو الإجهاد المتكرر، أو ضعف هذه الأربطة الخلقى إلى تمددها، مما يؤدى إلى *القدم المسطحة*)المعروفة شائعًا بالقدم المسطحة أو الأقواس المنهارة(. تجعل هذه الحالة الشخص أقل تحملًا للوقوف والمشى لفترات طويلة. ويبرز مقارنة القردة ذات الأقدام المسطحة مع البشر أهمية أقواس القدم البشرية)انظر التعمق 8.4(.

BEFORE YOU GO ON

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

20. سمِّ عظام حزام الحوض لدى البالغين. ما هى العظام الثلاثة لدى الطفل التى تندمج لتشكل عظم الورك لدى البالغ؟
21. سمِّ أى أربعة تراكيب من الحوض يمكنك جسها ووصف مكان جسها.
22. صف عدة طرق تختلف بها أحزمة الحوض بين الذكر والأنثى.
23. ما هى أجزاء عظم الفخذ المشاركة فى مفصل الورك؟ وما هى الأجزاء المشاركة فى مفصل الركبة؟
24. سمِّ النتوءات البارزة على كل جانب من كاحلك. ما هى العظام التى تساهم فى هذه الهياكل؟
25. اذكر جميع العظام التى تتصل بعظم الكاحل)Talus(ووصف موقع كل منها.

تدور الطرف العلوى إلى الخارج. لتصور ذلك، مد يديك أمامك مع توجيه راحتى اليدين نحو بعضهما كما لو كنت على وشك التصفيق. ثم قم بتدوير ساعديك بحيث تواجه الإبهامان بعيدًا عن بعضهما)إلى الخارج(وتكون راحتى اليدين متجهتين إلى الأعلى.
تدور الأطراف السفلية فى الاتجاه المعاكس، إلى الداخل، بحيث تواجه أخمص القدمين الأرض ويصبح الإصبع الكبير)الإصبع الأول(فى الجانب الداخلى. لذلك، على الرغم من أن الإبهام والإصبع الكبير)الإصبع الأول فى اليد والقدم(يبدأان فى مواجهة نفس الاتجاه، فإن هذه الدورانات المتعاكسة تؤدى إلى وجودهما فى جانبى اليد والقدم المختلفين)الشكل 8.43ب(. يفسر هذا الدوران أيضًا سبب انثناء المرفق إلى الخلف وانثناء الركبة إلى الأمام، ولماذا)كما سترى فى الفصل 10(تقع العضلات التى تثنى المرفق فى الجانب الأمامى من الذراع، فى حين تقع العضلات التى تثنى الركبة فى الجانب الخلفى من الفخذ.

عادةً لا تستقر القدم بشكل مسطح على الأرض، بل تحتوى على ثلاثة أقواس مرنة توزع وزن الجسم بين الكعب ورؤوس عظام مشط القدم وتمتص ضغط المشى)الشكل 8.44(. القوس الطولى الوسيط، الذى يمتد أساسًا من الكعب إلى الإصبع الكبير، يتكون من عظم العقب)الكاحل(، وعظم الكاحل)التالوس(، وعظم القارب، وعظام الإسفين، وعظام المشط من الأول إلى الثالث. وعادةً ما يكون مرتفعًا عن الأرض، كما يتضح من شكل أثر القدم المبللة. القوس الطولى الجانبى يمتد من الكعب إلى الإصبع الصغير ويشمل عظم العقب، وعظم المكعب، وعظام المشط الرابع والخامس. القوس العرضى يشمل عظم المكعب، وعظام الإسفين، ورؤوس عظام المشط القريبة. هذه الأقواس متماسكة بواسطة



نظرة أعمق 8.4

الطب التطورى

التكيفات الهيكلية للمشى على قدمين

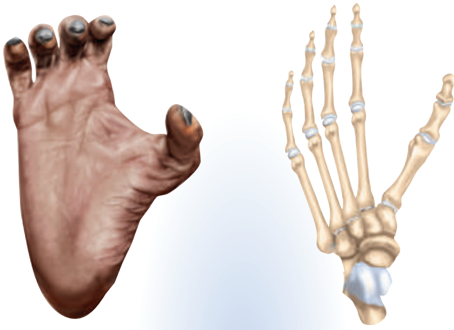
بعض الثدييات يمكنها الوقوف أو القفز أو المشى لفترة قصيرة على ساقيها الخل فيتين، لكن الإنسان هو الثديى الوحيد الذى يمشى على قدمين بشكل دائم. تشير آثار الأقدام المحفوظة فى طبقة من الرماد البركانى فى تنزانيا إلى أن أسلاف الإنسا ن كانوا يمشون منتصبين منذ 3.6 مليون سنة تقريبًا. هذا المشى على قدمين مم كن فقط بسبب عدة تكيفات فى أقدام الإنسان وأرجله وعموده الفقرى وجمجمتها. هذه الخصائص مميزة جدًا لدرجة أن علماء الأنثروبولوجيا القديمة)الذين يدرسون بقايا الحفريات البشرية(يمكنهم تحديد ما إذا كان نوع الحفرية قادرًا على المشى م نتصبًا بدرجة كبيرة من اليقين.

على الرغم من أهمية اليد فى تطور الإنسان، قد يكون القدم تكيفًا أكثر أهمية. على عكس الثدييات الأخرى، يدعم الإنسان وزن جسمه بالكامل على قدمين. بينما القردة تسير بأقدام مسطحة، لدى الإنسان أقواس قدم قوية ومرنة تمتص الصدما ت أثناء تحرك الجسم صعودًا وهبوطًا أثناء المشى والجرى. عظام الرسغ القدم مت صلة بإحكام مع بعضها البعض، والعظم العقب متطور بقوة. الإصبع الكبير أقل قا بلية للمقابلة مقارنة بمعظم قرود العالم القديم والقردة، لكنه متطور جدًا بحيث يو فر

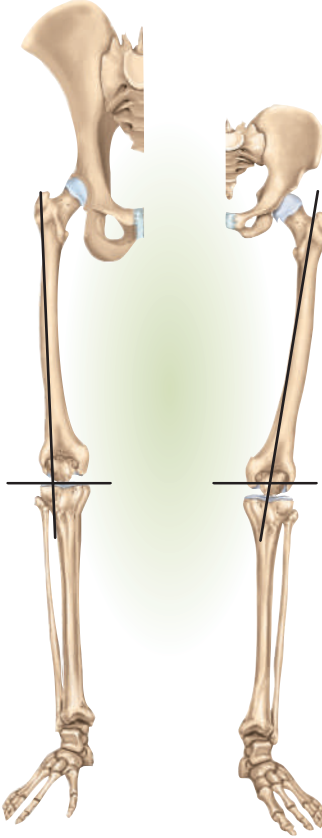
دفع "أصبع القدم" الذى يدفع الجسم إلى الأمام فى المرحلة الأخيرة من الخطوة)الشكل 8.45أ(. لهذا السبب، فإن فقدان الإصبع الكبير للقدم له تأثير أكثر إعاقة م ن فقدان أى إصبع آخر.

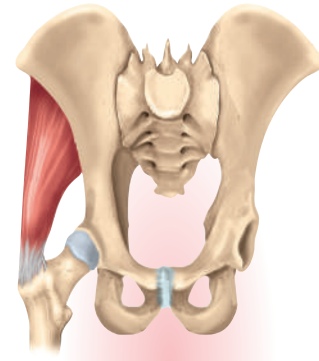
بينما تكون عظام الفخذ لدى القردة شبه عمودية، فإنها تميل فى الإنسان باتجاه الوسط من الورك إلى الركبة)الشكل 8.45ب(. هذا يجعل ركبنا أقرب إلى بعضهما البعض، تحت مركز ثقل الجسم. نحن نقفل ركبنا عند الوقوف، مما يسمح لنا بالوقوف منتصبين مع جهد عضلى قليل. القردة لا تستطيع فعل ذلك ولا يمكنها الوقوف على قدمين لفترة طويلة دون التعب—تمامًا كما لو حاولت الحفاظ على وضعية منتصبة وركبك منحنية قليلاً.

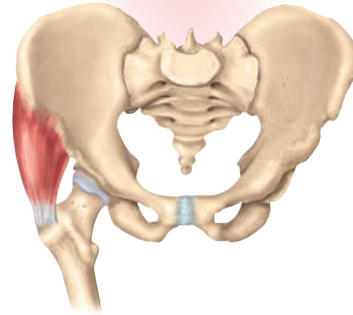
فى القردة والثدييات الرباعية الأرجل الأخرى، تدعم جدران البطن العضلية الأح شاء البطنية. فى الإنسان، تضغط الأحشاء على أرضية تجويف الحوض، ويكون الح وض على شكل وعاء ذو أرضية منحنية إلى الداخل ضروريًا لدعم وزنها. وقد أدى ه ذا إلى تضييق مخرج الحوض—وهى حالة تسبب الألم والصعوبة فى الولادة لأطفا ل ذوى أدمغة كبيرة الحجم.











الشكل 8.45 التكيفات الهيكلية للمشى على قدمين. تُفهم التكيفات البشرية للمشى على قدمين بشكل أفضل من خلال المقارنة مع أقرب أقاربنا الأحياء، الشم بانزى، الذى لا يتكيف للوقوف المستقيم المريح أو المستمر. انظر النص لمعرفة أهمية كل مقارنة.)أ(القدم.)ب(الركبة.)ح(عضلات الأرداف.)د(الحوص.) هـ(العمود الفقرى.)و(الجمجمة.

)الشكل مستمر(

خلف مفصل الورك)الشكل 8.45e(. بسبب أشواكهم على شكل حرف C، لا يس تطيع الشمبانزى الوقوف بسهولة. مركز ثقلهم يقع أمام مفصل الورك عند الوقوف؛ يجب عليهم بذل جهد عضلى مستمر لمنع السقوط إلى الأمام، ويتعبون بسرعة. بالمقابل، يحتاج البشر إلى جهد قليل للحفاظ على توازنهم. من المحتمل أن أسلا فنا من جنس الأسترالوبيثيكين كانوا قادرين على التنقل طوال اليوم مع تعب نس بى قليل.

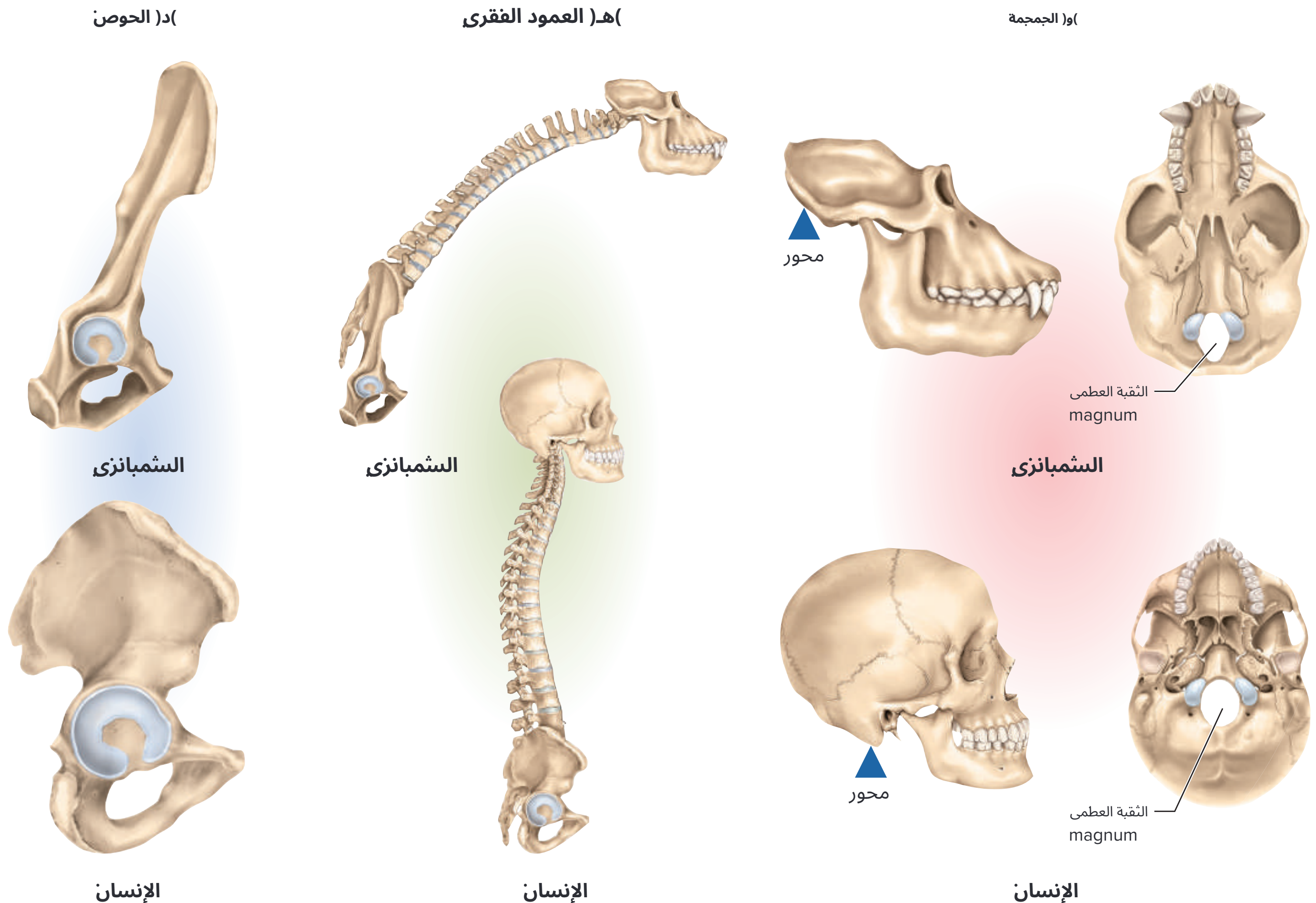
يتم توازن الرأس البشرى على العمود الفقرى مع توجيه النظر إلى الأمام. لقد ح عل تقوس الرقبة فى العمود الفقرى وإعادة تشكيل الجمجمة هذا ممكنًا. لقد انتق ل الثقب الكبير)foramen magnum(إلى موقع أكثر سفليًا وأماميًا، والوجه أص بح أكثر تسطحًا بكثير من وجه القرد)الشكل 8.45f(، لذلك هناك وزن أقل أمام ال لقمتين القذاليتين. وبما أن الرأس متوازن على العمود الفقرى، فإنه لا يتطلب ار تباطات عضلية قوية للحفاظ عليه منتصبًا.

الأطراف الأمامية للقرود أطول من الأطراف الخلفية؛ فى الواقع، بعض الأنواع م ثل إنسان الغاب والغيبون تمسك بأطرافها الأمامية الطويلة فوق رؤوسها عندما تمشى على أطرافها الخلفية. بالمقابل، أطرافنا الأمامية أقصر من أطرافنا الخلفية و أقل عضلية بكثير من أطراف القرود الأمامية. لم تعد الأطراف الأمامية ضرورية للح ركة، لذا أصبحت أكثر تكيفًا لحمل الأشياء، وإبقائها أقرب إلى العينين، والتعامل م عها بدقة أكبر.

يبدو أن ألم الولادة فريد من نوعه لدى البشر، ويمكن القول إنه ثمن يجب أن ندفع ه لامتلاكنا دماغًا كبيرًا ووضعية المشى على قدمين.

أكبر عضلة فى الأرداف، العضلة الألوية الكبرى، تعمل فى القرود بشكل أساس ى كعضلة مبعدة للفخذ—أى أنها تحرك الساق جانبياً. أما فى البشر، فقد توسع الع ظم الحرقفى)الإيليوم(باتجاه الخلف، لذا تنشأ العضلة الألوية الكبرى خلف مفصل الورك. هذا يغير وظيفة العضلة—بدلاً من إبعاد الفخذ، تسحب الفخذ إلى الخلف فى النصف الثانى من خطوة المشى)مثل سحب الفخذ الأيمن إلى الخلف عندما تكون القدم اليسرى مرفوعة وتتأرجح إلى الأمام(. عضلتان أخريان فى الأرداف، الع ضلة الألوية الوسطى و العضلة الألوية الصغرى، تمتدان جانبياً فى البشر من سطح العظم الحرقفى إلى المدور الأكبر لعظم الفخذ)الشكل 8.45ح(. أثناء المشى، عند ما تُرفع إحدى القدمين عن الأرض، تقوم هذه العضلات بشكل دقيق بتحويل وزن ا لجسم نحو القدم الأخرى حتى لا نسقط. تفسر حركات العضلات الألوية الثلاث، وإع ادة تشكيل الحوض التطورية المقابلة، الخطوة السلسة والفعالة للإنسان مقارنةً با لمشى المتعثر وغير المتزن للشمبانزى أو الغوريلا عند المشى منتصباً. النمو الخل فى للعظم الحرقفى)الشكل 8.45d(هو السبب فى أن الشق العجزى الأكبر عمى ق الانحناء جدًا لدى البشر.

الانحناء القطنى للعمود الفقرى البشرى يسمح بالمشى على قدمين بكفاءة من خلال نقل مركز ثقل الجسم إلى الخلف، فوق وقليلًا



الشكل 8.45 التكيفات الهيكلية للمشى على قدمين)تابع(.

دليل الدراسة

قيّم نتائج تعلمك

لاختبار معرفتك، ناقش المواضيع التالية مع شريك دراسة أو كتابةً، ويفضل أن يكون ذلك من الذاكرة.

8.1 نظرة عامة على الهيكل العظمى

1. الفرق بين الهيكل المحورى والهيكل الزائدى، والعظام فى كل فئة
2. العدد النموذجى للعظام المسماة فى البالغين؛ ولماذا يختلف هذا العدد فى حديثى الولادة والأطفال؛ ولماذا يختلف العدد بين البالغين
3. عظام الخياطة والعظام السمسمية، وأمثلة على الأخيرة
4. أسماء النتوءات المختلفة، والانخفاضات، والأسطح المفصلية، والتجاويف، والممرات فى العظام

8.2 الجمجمة

1. العدد المعتاد للعظام فى جمجمة البالغين، والاسم الجماعى للدرزات أو المفاصل التى تربط معظمها معًا
2. أسماء ومواقع التجاويف التى تحيط بالدماغ، والأنف، والأذنين، والعينين، وجيوب الأنف الجانبية
3. الوظيفة الجماعية لفتحات الجمجمة؛ موقع ووظيفة أكبرها، الثقب الكبير (foramen magnum)
4. الميزات الرئيسية للجمجمة؛ الفرق بين قاعدتها وقبة الجمجمة (calvaria)؛ الحفر القحفية الثلاث وكيف ترتبط بتشريح الدماغ
5. أسماء العظام القحفية الستة؛ أيها مفرد وأيها مزدوج الجانب؛ وما يميز العظمة القحفية عن العظمة الوجهية
6. موقع ومدى العظم الجبهى؛ الدرز الذى يربطه بعظام الجدارى؛ ومواقع هامش فوق الحجاج والثقبة، العلابلا، الجيب الجبهى، والدبلوى
7. موقع ومدى عظام الجدارى؛ والخياطة التى تتشكل حيث تلتقى بالعظم القذالى وتلك التى تفصل بين عظام الجدارى بعضها عن بعض؛ ومواقع الثقبة الجداريّة وخطوط الصدغ
8. موقع ومدى عظام الصدغ؛ والخياطة الرئيسية التى تحدها؛ وأسماء وحدود أجزائها الأربعة الرئيسية
9. موقع ومدى العظم القذالى، الجزء القاعدى منه، وأسماء ومواقع الثقوب والقنوات والبروزات السطحية الخاصة به
10. موقع ومدى العظم الوتدى؛ أجنحته، جسمه، صفائح الجناح، النتوءات الكلينية، والثقوب؛ وعلاقاته بالغدة النخامية وفتحات الأنف
11. موقع ومدى العظم الغربالى؛ دوره فى تحديد تجاويف الأنف؛ ومواقع صفائحه، ثقوبه، خلاياه الهوائية، والصدفات الأنفية
12. أسماء العظام الثمانية للوجه؛ أيها مفرد وأيها مزدوج على الجانبين
13. موقع ومدى عظم الفك العلوى؛ فتحاته، تجاويفه، والنتوءات السنخية والحنكية؛ والدرز الذى يربط بين الفك العلوى الأيمن والأيسر
14. موقع ومدى عظام الحنك؛ فتحاتها؛ ودورها فى تحديد جزئى لجدران تجويف الأنف والحجاج
15. تركيب الحنك، بما فى ذلك المناطق الصلبة واللينة ومساهمات النتوءات الحنكية وعظام الحنك
16. موقع ومدى عظام الوجنة، والنتوء الصدغى والفتحة الرئيسية لكل منها
17. الأجزاء الثلاثة لقوس الوجنة
18. مواقع وتركيبات العظام الدمعية والأنفية الصغيرة
19. الصدفة الأنفية السفلية ولماذا تميز عن الصدفتين العلوية والوسطى
20. موقع ومدى عظم المحراث؛ مساهمات عظم المحراث وعظم الغربالى فى الحاجز الأنفى
21. تركيب الفك السفلى، بما فى ذلك الجسم، والذراع، والزاوية؛ عملياته الرئيسية الاثنتان والشق بينهما؛ فتحاته، التقاء العظمتين، البروز، والأشواك
22. العظام وخصائصها المحددة التى تُشكّل المفصل الصدغى الفكى
23. مواقع وأسماء العظيمات السمعية؛ موقع وخصائص عظم اللامة؛ ووظائف هذه العظام
24. أسماء ومواقع اليافوخات فى جمجمة الوليد؛ سبب وجودها؛ وكيف تتغير جمجمة الطفل بين الولادة وعمر ٩ سنوات

٣.٨ العمود الفقرى والقفص الصدرى

1. عدد الفقرات والأقراص بين الفقرات فى العمود الفقرى (العمود الفقرى)
2. الأقواس الأربعة للعمود الفقرى البالغ؛ أيها موجود عند الولادة؛ ومتى وكيف تتطور الأقواس الأخرى
3. خصائص الفقرة النموذجية
4. الفئات الخمس للفقرات وعدد الفقرات فى كل فئة؛ نظام ترقيمها؛ ولماذا يختلف عدد الفقرات عند الطفل عن العدد فى عمر ٠٣ سنة وما بعده
5. الخصائص التى تحدد الفقرة المعزولة كفقرة عنقية أو صدرية أو قطنية
6. كيف يرتبط تشريح أول فقرتين (C1–C2) بحركات الرأس
7. كيف يرتبط تشريح الفقرات الصدرية (T1–T12) بمفاصل الأضلاع
8. هيكل ووظيفة الأقراص بين الفقرات؛ أى الفقرات تحتوى على أقراص بينها وأيها لا تحتوى
9. الميزات التشريحية للعجز، بما فى ذلك الثقوب، التلال، القناة والفجوة، السطح الأذنى والمفصل العجزى الحرقفى، البروز، والأجنحة
10. ميزات العصعص
11. مكونات وشكل القفص الصدرى العام
12. المناطق الثلاث الرئيسية لعظم القص؛ نتوءاته وزاوية القص
13. عدد الأضلاع؛ أيها حقيقية، وأيها زائفة، وأيها عائمة
14. جميع الميزات التى تُرى فى معظم الأضلاع
15. أى الأضلاع تختلف عن التشريح النموذجى، وكيف تختلف
16. كيفية تَفاصُل الأضلاع مع الفقرات، بما فى ذلك الاختلافات من أعلى إلى أسفل القفص الصدرى

8.4 الحزام الصدرى والطرف العلوى

1. أسماء ومواقع العظام الأربعة للحزام الصدرى و٣٠ عظمة لكل طرف علوى
2. أسماء المفاصل التى يرتبط عندها عظم العضد بعظم الكتف، وعظم الكتف بعظم الترقوة، وعظم الترقوة بالهيكل المحورى

دراسة دليل

8. خصائص عظم الفخذ، بما في ذلك الرأس، العنق، الحفرة الرأسية)فوفيا كابيتيس(، المدوران، ا لحدبة بين المدورين، الحدبة الألوية، اللقمتان، الح فرة بين اللقمتين، اللقمتان الجانبيتان، الخطوط، و الأسطح الرضفية وخلف الركبة
9. خصائص عظمة الرضفة، بما في ذلك القاعدة، ا لقمة، والسطوح المفصلية
10. خصائص عظم الظنبوب، بما في ذلك اللقم تان الجانبية والوسطى والنتوء بين اللقم تين؛ نتوء الظنبوب؛ الحد الأمامي؛ والكاحل الوسيط
11. خصائص عظم الشظية، بما في ذلك الرأس، القمة، والكاحل الجانبي
12. أسماء عظام الرسغ من الخلف إلى الأمام، و من الجانب إلى الوسط في الصف البعيد؛ ولماذا هي أكثر تكاملاً في القدم مقارنة بع ظام الرسغ في اليد
13. نظام تسمية وترقيم عظام مشط القدم الخم سة ومجموعات السلاميات الخمسة في ا لأصابع؛ ولماذا هناك خمسة أصابع ولكن فقط 14 سلامية؛ القاعدة، الجسم، والرا س لجميع عظام المشط والسلاميات الـ سعة عشر
14. لماذا تنثني المرفقان والركبتان في اتجاهين م تعاكسين، ولماذا يكون أكبر إصبع جانبيًا في الي د ولكنه وسطي في القدم
15. أسماء ومواقع الأقواس الثلاثة للقدم

خمسة أصابع ولكن فقط 14 سلامية؛ القاعدة، الج سم، والرأس لجميع 19 من عظام مشط اليد وا لسلاميات

8.5 الحزام الحوضي والطرف السفلي

1. أسماء ومواقع العظام الثلاثة للحزام الحوضي و30 عظمة لكل طرف سفلي
2. أسماء المفاصل التي يرتبط عندها الطر ف السفلي بالحزام الحوضي وارتباط الح زام الحوضي بالهيكل المحوري
3. التمييز بين الحزام الحوضي والحوض
4. ثلاث عظام في الطفولة تندمج لتشكل كل عظم وركي)عظم الحوض(للبالغين، و حدود كل منها على عظم الورك
5. ميزات عظام الورك)العجزية(والحزام الحوضي بما في ذلك الأسطح الأذنية؛ القرص بين العا نى والتعظم العانى؛ الحوض الأكبر والأصغر؛ حا فة الحوض، المدخل، والمخرج؛ الحدبة الحرق فية؛ التجويف الحقوي؛ الثقب السدادي؛ أر بعة أشواك عجزية؛ شقين عجزيين؛ الحفرة الح رقفية؛ وأجزاء من العجز والعانة
6. الاختلافات بين حزام الحوض الذكري والأن ثوي والسبب الأساسي لهذه الاختلافات
7. أسماء المناطق الأربع للطرف السفلي والعظام الموجودة في كل منها

3. خصائص عظم الترقوة، بما في ذلك النه ايات القصية والأخرمية والنتوء المخرو طي؛ وظيفة عظام الترقوة
4. خصائص عظم الكتف، بما في ذلك حدوده وزوا ياه، والحفر، والشق فوق الكتفي، والأخرم، والنتوء الغرابي، والتجويف الحقّي
5. أسماء المناطق الأربع للطرف العلوي والعظام ا لموجودة في كل منها
6. خصائص عظم العضد، بما في ذلك الرأس، وا لعنق، والنتوءات، والمنخفض بين النتوءات، والنتوء الدالي، والرأس الصغير)الكابيتولوم(، والبكرة، والنتوءات فوق اللقيمة، والحواف فوق الل قيمة، وثلاث حفر
7. ميزات عظم الكعبرة، بما في ذلك الرأس، العنق، نتوء الكعبرة، النتوء الإبري، و الشق الزندي
8. ميزات عظم الزند، بما في ذلك الشق التروكلي والشق الكعبري، النتوء الإكليلي والنتوء ا لإبري، والأوليكرانون؛ والعلاقة بين ا لكعبرة والزند بالغشاء بين العظام
9. أسماء عظام الرسغ، بالترتيب، من الجانب الوحشي إلى الجانب الإنسي في الصف القريب و من الجانب الوحشي إلى الجانب الإنسي في الصف البعيد؛ التركيب غير المعتاد لعظم الهامات
10. نظام تسمية وترقيم خمسة عظام مشط اليد في المنطقة الراحة و خمسة مجموعات من السلاميات في الأصابع؛ لماذا هناك

▶ اختبار استرجاعك

الإجابات في الملحق أ

7. رأس الكعبرة على شكل قرص يتصل بـ ______ عظم العضد.
أ. الحدبة الكعبرية
ب. البكرة
ج. الرأس الصغير
d. الأوليكرانون
هـ. التجويف الحقاني

8. جميع ما يلي هي عظام الرسغ، *ما عدا* ، والتي هي عظمة رسغ القدم. ______
أ. المربع الكبير
ب. المكعب
ج. المربع الصغير
d. المثلث
هـ. الرسغ الكمثري

9. العظم الذي يدعم وزن جسمك عندما تكون جالسًا هو
أ. الحُقّ)الحُقّ الحُقّي(.
ب. العانة.
ج. الحرقفة.
d. العصعص.
هـ. الإسك.

4. الفقرات الوحيدة التي تحتوي على ثقوب عرضية الفقرات ______ هي
أ. الصدرية
ب. العصعصية
ج. القطنية
d. الرقبية
هـ. العجزية

5. الفقرات الصدرية لا *تحتوي* على
أ. الثقوب العرضية.
ب. الأسطح الضلعية.
ج. النواتئ الشوكية.
d. النواتئ العرضية.
هـ. الزوائد.

6. الحدبة في الضلع تتصل بـ
أ. الشق القصي.
ب. حافة الغلاديولوس.
ج. الأسطح المفصلية الضلعية لفقراتين.
d. جسم الفقرة.
هـ. الزوائد العرضية للفقرة.

1. أي من هذه ليست جيبًا أنفيًا جانبيًا؟
أ. الجبهة
ب. الصُّدغية
ج. الوتدية
d. الإيثمويدية
هـ. الفكية

2. أي من هذه العظام هو عظم وجهي؟
أ. الجبهة
ب. النتوء الغربالي
ج. العظم القذالي
d. الصُّدغية
هـ. العظم الدمعي

3. أي من هذه لا يمكن تحسسها على شخص حي؟
أ. النتوء المشط
ب. النتوء الخشائي
ج. القوس الوجني
d. الخط القذالي العلوي
هـ. العظم اللامي

دراسة GUIDE

18. تتوءات عظمية لعظمتى الكعبرة والزند ______ العظم تشكل نتوءات عظمية على كل جانب من الرسغ.

19. تمر الأعصاب والأوعية الدموية عبر ثقوب صغيرة فى الجمجمة تسمى ______. المفرد من هذه الكلمةهو الشكل المفرد لهذه الكلمة هو ______.

20. قوس القدم يمتد من ______ العظم الكعب إلى إصبع القدم الكبير.

14. للعظم أجنحة كبيرة وصغيرة ______ العظم ويحمى الغدة النخامية.

15. يحدث الانزلاق الغضروفى عندما يتمزق حلقة تُسمى ______ تتشقق.

16. الرباط العرضى للأطلس يمسك ______ من المحور فى مكانه.

17. يتكون المفصل العجزى الحرقفى حيث تتصل سطح العجز ______ بسطح الحرقفة.

10. أى من هذه العظام هو عظم الكعب؟
أ. المكعب d. العظم البكرى
ب. العقب العظم الكاحلى
ج. العظم الزورقى

11. الفجوات بين عظام الجمجمة عند الرضيع تسمى ______.

12. القناة السمعية الخارجية هى ممر فى ______ العظم.

13. العظام الجمجمية متصلة على طول خطوط تُسمى ______.

بناء مفرداتك الطبية

الإجابات فى الملحق أ

اذكر معنى كل عنصر من عناصر الكلمة، وقدم مصطلحًا طبيًا من هذا الفصل يستخدمه أو تعديلًا طفيفًا له.

1. costo-
2. cranio-
3. dura
4. glosso-
5. -icle
6. masto-
7. بيدو-
8. بتريغو-
9. سوبرا-
10. تارسو-

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

الإجابات فى الملحق أ

اشرح بإيجاز لماذا كل من العبارات التالية خاطئة، أ و أعد صياغتها لتصبح صحيحة.

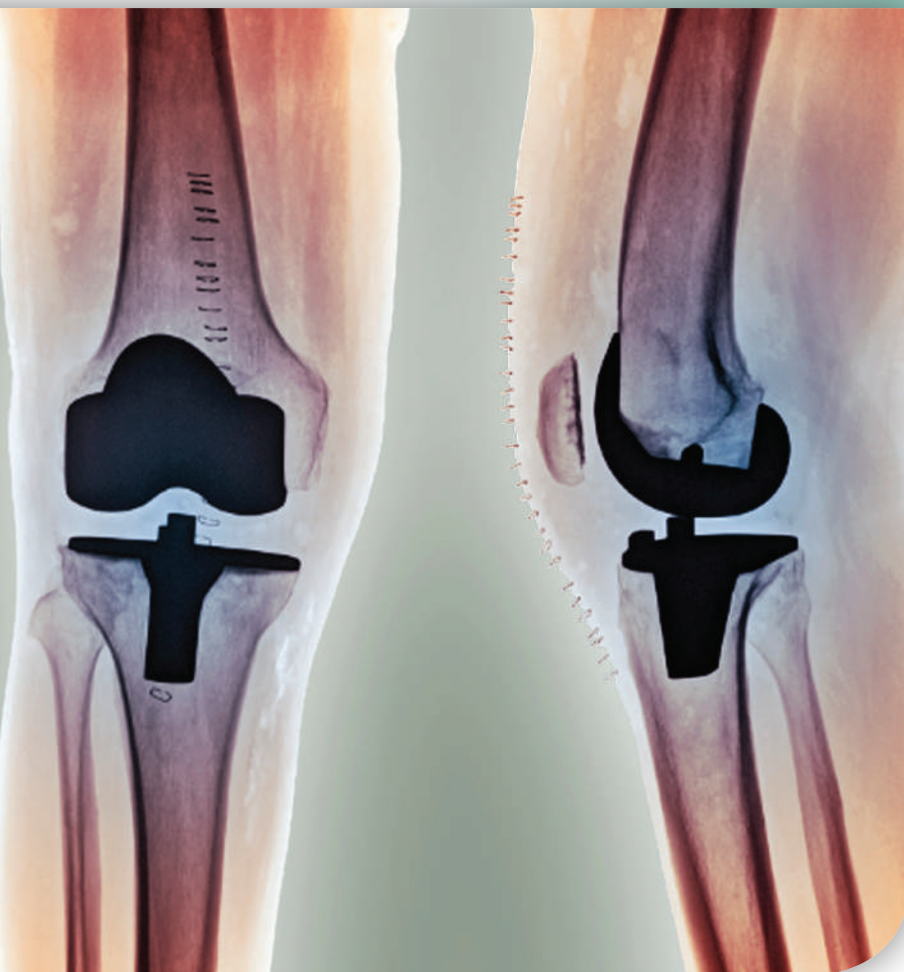
1. الوريد الوداجى الداخلى يمر عبر الثقبة العظمى (فورامن ماجنوم) فى الجمجمة وينزل عبر الرقبة.
2. الأيدى تحتوى على عدد أكبر من السلاميات مقارنة بالأقدام.
3. كتكيف مع الحمل، يكون حوض الأنثى أعمق م ن حوض الذكر.
4. عادةً ما يحيط ساعة اليد أو السوار بمنطقة عظ ام الرسغ)عظام المعصم(.
5. على شخص حى، سيكون من الممكن ح س الأكروميوم وشوكة الكتف ولكن ليس ع ضلات الحفرة تحت الشوكة.
6. إذا وضعت ذقنك على يديك وكوعيك على الطا ولة، فإن النتوء الإكليلى لعظم الزند يستند ع لى الطاولة.
7. الفقرات القطنية لا تتصل بأى أضلاع وبالتالى لا تحتوى على نتوءات عرضية.
8. يتكون الحاجز الأنفى من العظم الأنفى والعظم ا لمحراثى (vomer).
9. فى المصطلحات التشريحية الدقيقة، الكلمات الذراع والساق كلاهما يشيران إلى مناطق تحتوى على عظ م واحد فقط.
10. توجد العظام السمسمية على طول الدروز بين عظام الجمجمة عند بعض الأشخاص.

اختبار فهمك

1. تشكل معظم العظام مفاصل مع عظمين آ خرين على الأقل.على سبيل المثال، هناك 12 مفصلًا بين الفقرة T6 والعظام المجاور ة الأخرى.حدد على الأقل 10 منها.
2. من خلال تحسس الساق الخلفية لقطة أو كل ب أو بفحص هيكل عظمى مختبرى، يمكنك أ ن ترى أن القطط والكلاب تقف على رؤوس ع ظام مشط القدم؛ العقب لا تلمس الأرض. كيف يشبه هذا وضعية الشخ ص الذى يرتدى أحذية ذات كعب عالٍ؟ وكي ف يختلف عنها؟
3. بين أى فقرتين غير ملتحمتين)من الفقرات العنقية حتى القطنية(، يوجد قرص بين الفقرا ت—باستثناء بين C1 و C2. قدم بعض الأسباب لغياب القرص الفريد ف ى ذلك الموقع.
4. فى المراهقين، أحيانًا يفصل الصدمة رأس ع ظم الفخذ عن العنق. لماذا تعتقد أن هذا أك ثر شيوعًا فى المراهقين منه فى البالغين؟
5. ناقش بكل الطرق التى يمكنك من خلالها ك يف تجسد الفروقات بين الفقرة C5 والفقرة L3 موضوع هذا الكتاب حول وحدة الش كل والوظيفة.

الفصل
9

المفاصل



صورة أشعة سينية لبروتزة استبدال الركبة، من الأمام والجانب

Zephyr/Getty Images

مخطط الفصل

9.1 المفاصل وتصنيفها

9.1أ المفاصل العظمية

9.1ب المفاصل الليفية

9.1ج المفاصل الغضروفية

9.2 المفاصل الزليلية

9.2أ التشريح العام

9.2ب المفاصل وأنظمة الروافع

9.2ج حركات المفاصل الزليلية

9.3 تشريح المفاصل الزلالية المختارة

9.3a مفصل الفك

9.3b مفصل الكتف

9.3c مفصل المرفق

9.3d مفصل الورك

9.3e مفصل الركبة

9.3f مفصل الكاحل

دليل الدراسة

رؤى أعمق

9.1 التطبيق السريري: التمارين والغضروف المفصلي

9.2 التطبيق السريري: خلل مفصل الفك الصدغي (TMJ)

9.3 التطبيق السريري: خلع الكتف

9.4 التطبيق السريري: إصابات الركبة وجراحة التنظير المفصلي

9.5 التطبيق السريري: التهاب المفاصل والمفاصل الصناعية

Anatomy & Physiology Revealed 4.0

الوحدة ٥: الجهاز الهيكلي

مراجعة

- يتطلب فهم تشريح ووظيفة المفاصل الإلمام بأسماء جميع العظام الرئيسية)انظر الجدول 8.1 والشكل 8.1(.
- يتطلب فهم حركة المفاصل أيضًا معرفة الميزات السطحية للعظام، خاصة عند الأسطح المفصلية لعظام الأطراف، والتى وُصفت فى جميع أنحاء الفصل 8 وتم سردها بمصطلحات عامة فى الجدول 8.2.
- تُوصف حركات المفاصل بالإشارة إلى المستويات التشريحية الأساسية المحددة فى الأطلس أ، الشكل أ.1.

المفاصل، أو الوصلات، تربط عظام الجهاز الهيكلى فى كيان وظيفى واحد — نظام يدعم الجسم، يسمح بالحركة الفعالة، ويحمى الأعضاء الرخوة. المفاصل مثل الكتف، والكوع، والركبة هى نماذج رائعة من التصميم البيولوجى — ذات تزييت ذاتى، شبه خالية من الاحتكاك، وقادرة على تحمل الأحمال الثقيلة ومقاومة الضغط مع تنفيذ حركات سلسة ودقيقة)الشكل 9.1(. ومع ذلك، من المهم بنفس القدر أن تكون بعض المفاصل أقل حركة أو حتى غير متحركة. فمثل هذه المفاصل أفضل فى دعم الجسم وحماية الأعضاء الحساسة. على سبيل المثال، العمود الفقرى متحرك بشكل معتدل فقط، لأنه يجب أن يسمح بمرونة الجذع ومع ذلك يحمى الحبل الشوكى الحساس ويدعم جزءًا كبيرًا من وزن الجسم. يجب أن تحمى عظام الجمجمة الدماغ وأعضاء الحواس، لكنها لا تحتاج إلى السماح بالحركة)باستثناء أثناء الولادة(؛ لذلك، فهى متشابكة بواسطة مفاصل غير متحركة، وهى الدروز التى تمت دراستها فى الفصل 8. فى الحياة اليومية، نلاحظ أكثر المفاصل الحرة الحركة فى الأطراف، وهنا يشعر الناس بأكبر قدر من الإعاقة بسبب أمراض مثل التهاب المفاصل. يركز الكثير من عمل المعالجين الفيزيائيين على حركة الأطراف. فى هذا الفصل، سنستعرض جميع أنواع المفاصل، من غير المتحركة تمامًا إلى الأكثر حركة، مع التركيز على الأخيرة. هذا الاستعراض لتشريح المفاصل وحركاتها سيشكل أساسًا لدراسة حركات العضلات فى الفصل 10.



الشكل 9.1 مرونة المفصل.
كرة مطاطية/إريك إيساكسون/صور غيتى

9.1 المفاصل وتصنيفها

نتائج التعلم المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. شرح ما هى المفاصل، وكيف تُسمى، وما هى الوظائف التى تؤديها؛

ب. تسمية ووصف الفئات الأربع الرئيسية للمفاصل؛

ج. وصف الأنواع الثلاثة للمفاصل الليفية وإعطاء مثال على كل منها؛

د. تمييز بين الأنواع الثلاثة من الدروز؛

هـ. وصف نوعى المفاصل الغضروفية مع إعطاء مثال على كل منهما؛ و

و. شرح، مع أمثلة، لماذا تتغير بعض المفاصل من فئة إلى أخرى مع تقدم العمر.

أى نقطة يلتقى فيها عظمان تُسمى مفصل)التقاء(، سواء كانت العظام متحركة عند تلك الواجهة أم لا. علم تركيب المفصل ووظيفته واضطرابه يُسمى علم المفاصل)أرثرولوجى(.[1] دراسة حركة الجهاز العضلى الهيكلى هى علم الحركة)كينيسيولوجى(2)كى-نى-سى-أول-وجى(.

عادةً ما يُشتق اسم المفصل من أسماء العظام المشاركة. على سبيل المثال، المفصل الأطلسى القذالى هو حيث يلتقى الأطلس مع اللقمتين القذاليتين؛ المفصل الحقانى العضدى هو حيث تلتقى التجويف الحقانى للكتف مع العضد؛ و المفصل الكعبر الزندى هو حيث يلتقى الكعبرة بالزند.

يمكن تصنيف المفاصل وفقًا للطريقة التى ترتبط بها العظام المجاورة ببعضها البعض، مع اختلافات مقابلة فى مدى حرية حركة العظام. تختلف السلطات فى مخططات تصنيفها، لكن وجهة نظر شائعة تضع

---

[1] أرثرو = مفصل؛ لوجى = دراسة
[2] كينيسيو = حركة؛ لوجى = دراسة

تتصل نهايات العظام الطويلة)الإيبيفيسيس(وأجسامها)الديأفيسيس(بواسطة مفاصل غضروفية فى الطفولة والمراهقة، وتتحول هذه إلى مفا صل عظمية فى بداية البلوغ. فى الشيخوخة، غالبًا ما تندمج الضلع الأول م ع القص، وأحيانًا تندمج عظمتا الجداريتين على طول الخياطة السهمية.

المفاصل فى أربع فئات رئيسية: *العظمية، الليفية، الغضروفية، والم فاصل الزليلية*. يصف هذا القسم الأنواع الثلاثة الأولى من هذه والفئا ت الفرعية لكل منها. أما بقية الفصل فستركز بشكل أساسى على الم فاصل الزليلية.

9.1 ب المفاصل الليفية

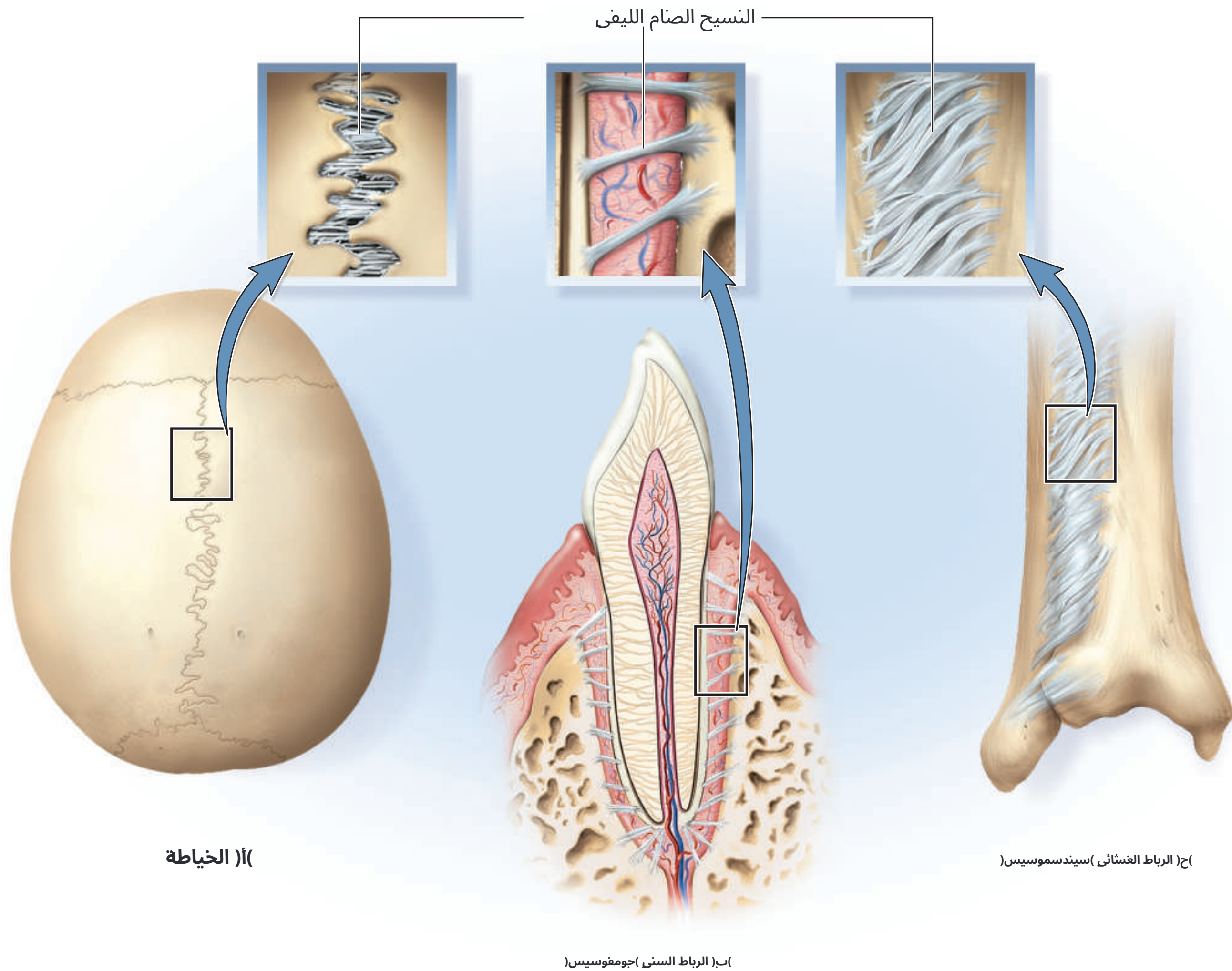
المفصل الليفى يُسمى أيضًا التصاق العظام[4])سين-آر-ثرو-سيس(. هو نقطة يرتبط فيها العظام المجاورة بألياف كولاجين تنبع من عظمة واحدة، تعبر الفراغ بينهما، وتخترق العظمة الأخرى)الشكل 9.2(. هنا ك ثلاثة أنواع من المفاصل الليفية: *الخياطات، التثبيتات، والرباطيات*. فى الخياطات والتثبيتات، تكون الألياف قصيرة جدًا وتسمح بحركة قليلة أو معدومة. أما فى الرباطيات، فتكون الألياف أطول والعظام الم رتبطة أكثر حركة.

9.1 أ المفاصل العظمية

المفصل العظمى، أو التعظم المشترك[3])سين-أوس-توس-يس(، هو مفصل غير متحرك يتكون عندما يتعظم الفراغ بين عظمتين ويصبحا ن، فى الواقع، عظمة واحدة. يمكن أن تتكون المفاصل العظمية من تعظم المفاصل الليفية أو الغضروفية. على سبيل المثال، يولد الطفل بعظمتين جبهيتين وفكيتين يمين ويسار، لكن هذه تندمج قريبًا بسلا سة لتصبح عظمة جبهية واحدة وفك واحد.
تندمج ثلاث عظام فى الطفولة — الحرقفة، العجز، والعانة — لتشكل عظمة ورك واحدة على كل جانب من البالغ.

[4] *syn* = معاً؛ *arthr* = متصل؛ *osis* = حالة

[3] *syn* = معاً؛ *ost* = عظم؛ *osis* = حالة



الشكل 9.2 المفاصل الليفية.)أ(خياطة بين عظام الجدارى.)ب(رباط سنى بين السن والفك.)ح(رباط غشائى بين عظم الساق)الظنبوب(وعظم الشظية.

إذا عرفنا المفصل بشكل ضيق على أنه اتصال عظم بعظم آخر، أى من هذه الثلاثة لا يندرج تحت هذا التعريف ولماذا؟

مثل لوحين ملتصقين معًا فى وصلة ملتصقة. هذا النوع من الوصلات يمثله الدرزة بين الفكين فى سقف الفم)انظر الشكل 8.5أ(.

المفاصل السنخية)Gomphoses(

على الرغم من أن الأسنان ليست عظامًا، فإن تثبيت السن فى تجوى فه يُصنف كمفصل يُسمى المفصل السنخى (gom-FOE-sis).[5] يشير المصطلح إلى تشابهه مع المسمار الذى يُدق فى الخشب. يتم تثبيت السن بإحكام فى مكانه بواسطة رباط ليفى الرباط اللثوى السنى، الذى يتكون من ألياف كولاجين تمتد من مصفوفة العظم فى الفك إلى النسيج السنى)انظر الشكل 9.2ب(. يسمح الرباط اللثوى السنى للسن بالحركة أو الانحناء قليلاً تحت ضغط المضغ. إلى جانب النهايات العصبية المرتبطة، تتيح هذه الحركة الطفيفة للسن أن نشعر بمدى قوة العض ونشعر بجسيم طعام عالق بين الأسنان.

الرباطات

الرباط الليفى)Syndesmosis(هو مفصل ليفى حيث يتم ربط عظمتين بألياف كولاجينية طويلة نسبيًا.

[5] غومف = مسمار، برغى؛ *أوزيس* = حالة
[6] سين = معًا؛ ديسم = شريط؛ *أوزيس* = حالة

الخياطات

الدرزات هى مفاصل ليفية غير متحركة أو متحركة قليلاً تربط عظام الجمجمة ببعضها البعض بإحكام؛ ولا توجد فى أى مكان آخر. فى الفصل 8، لم نُعِر اهتمامًا كبيرًا للاختلافات بين درز وآخر، لكن قد تكون بعض الاختلافات قد لفتت انتباهك أثناء دراسة الرسوم التوضيحية فى ذلك الفصل أو فحص العينات المختبرية. يمكن تصنيف الدرزات إلى *درزات مسننة*، *درزات متداخلة*، و *درزات مستوية* .

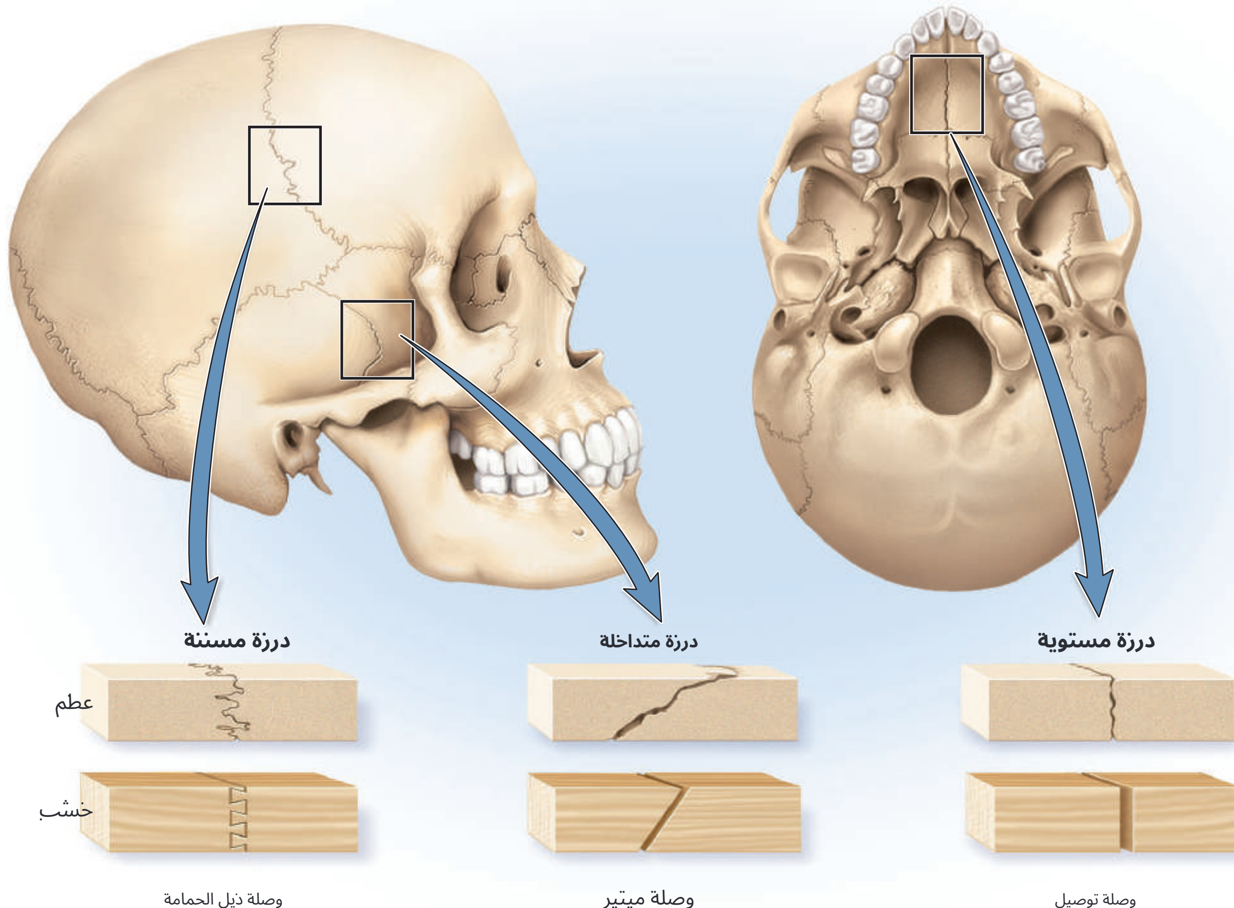
قد يتعرف القراء الذين لديهم بعض المعرفة بالنجارة على أن هياكل وخصائص هذه الدرزات الوظيفية تشترك فى شىء ما مع أنواع الوصلات الأساسية فى النجارة)الشكل 9.3(.

تظهر الدرزات المسننة كخطوط متموجة تتشابك عندها العظام المجاورة بإحكام من خلال حوافها المسننة، مثل قطع أحجية الصور المقطوعة)البازل(. الدرزات المسننة تشبه وصلة ذيل الحمامة فى النجارة. من الأمثلة عليها درزات التاجية، السهمية، واللمبدية التى تحد عظام الجدارى.

تحدث الدرزات المتداخلة)الصفحية(حيث تتداخل حافتان مائلة لعظمتين، مثل وصلة الزاوية فى النجارة. على السطح، يظهر الدرزة المتداخلة كخط ناعم نسبيًا)غير مسنن(.

مثال على ذلك هو الدرزة الصفحية حيث يلتقى العظم الصدغى بالعظم الوتدى والجدارى. يمكن رؤية الحافة المائلة للعظم الصدغى فى الشكل 8.11ب.

تحدث الدرزات المستوية)الملاصقة(حيث تكون حواف عظمتين مستقيمة وغير متداخلة. العظمتان تلامسان بعضهما البعض فقط،



الشكل 9.3الدرزات. مقارنة بين الدرزات المسننة، المتداخلة، والمستوية مع بعض وصلات الخشب الشائعة.

)الشكل 9.4أ(.)الغضاريف الضلعية الأخرى متصلة بالقص بواسطة م فاصل زليلية.(

التلاحمات

في التلاحم[9])SIM-fih-sis(، يتم ربط عظمتين بواسطة الغ ضروف الليفي)الشكل 9.4ب، ح(. أحد الأمثلة هو التلاحم العاني، حي ث ترتبط عظمتا العانة اليمنى واليسرى من الأمام بواسطة القرص الغ ضروفي بين العانيتين. مثال آخر هو المفصل بين أجسام فقرتين، المر تبطين بواسطة قرص بين الفقرات. سطح كل جسم فقري مغطى بالغ ضروف الزجاجي. بين الفقرات، يتخلل هذا الغضروف حزم الكولاجين لتشكيل الغضروف الليفي. يسمح كل قرص بين الفقرات بحركة طفي فة فقط بين الفقرات المجاورة، لكن التأثير الجماعي لجميع الأقراص ا لـ 23 يمنح العمود الفقري مرونة كبيرة.

طبق ما تعرفه

المفاصل بين الفقرات هي تلاحمات فقط في المنطقة العنقية ح تى القطنية. كيف تصنف المفاصل بين الفقرات للعجز والعصع ص في شخص بالغ في منتصف العمر؟

[9]سيم = معًا؛ فيسيس = نمو

الفصل بين العظام وطول الألياف يمنح هذه المفاصل حركة أكثر من المفصل الخيطي أو الغومفوسيس. يوجد مفصل سيندسموزيس متحرك بشكل خاص بين جذوع عظم الكعبرة والزند، واللذين يرتبطان بغشاء ليفي عريض *بين العظام.* هذا يسمح بحركات مثل التدوير الداخلي والخارجي للساعد. أما السيندسموزيس الأقل حركة فهو الذي يربط الأطراف البعيدة لعظمي الظنبوب والشظية جنبًا إلى جنب)انظر الشكل 9.2ح(.

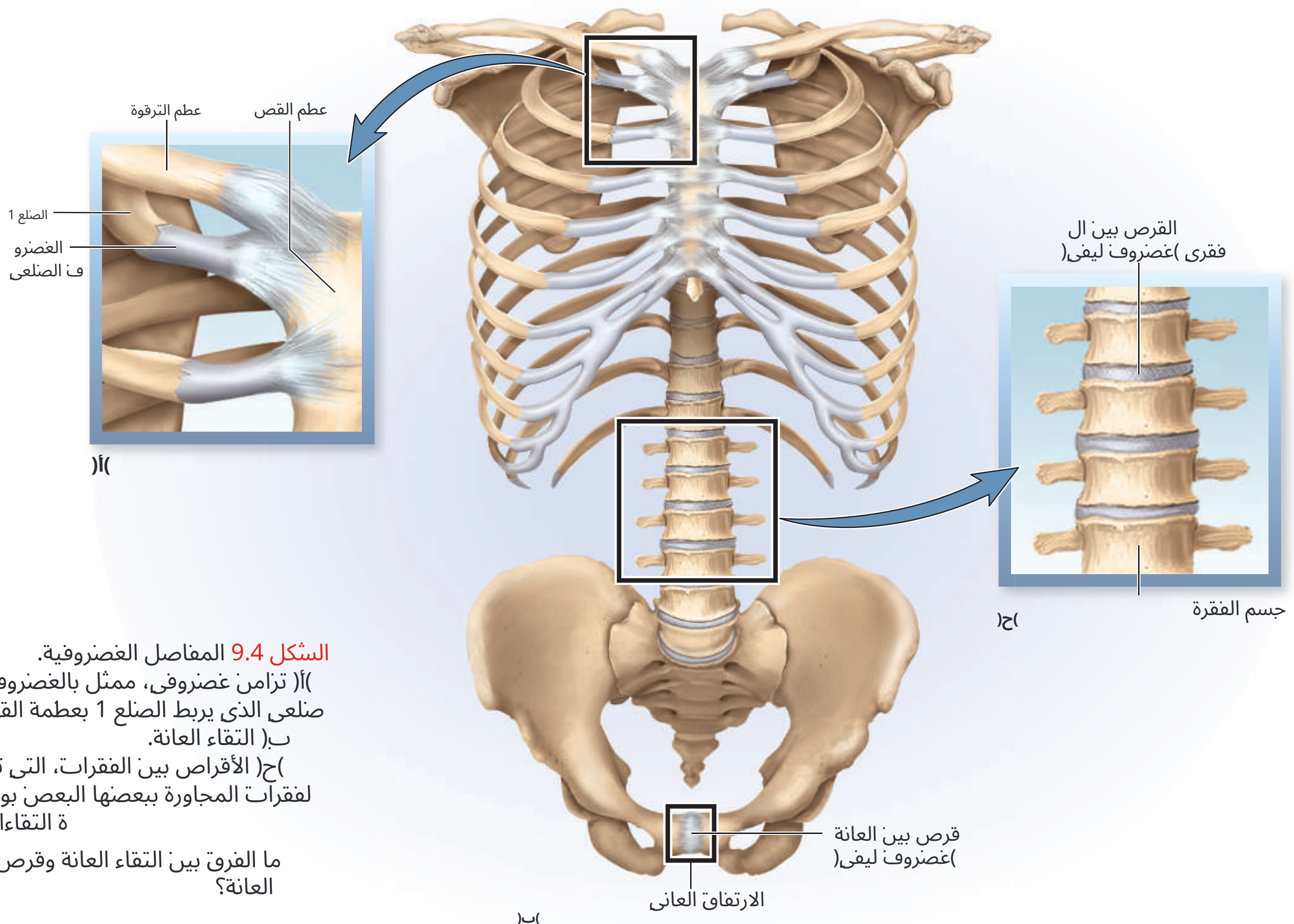
9.1 ح المفاصل الغضروفية

المفصل الغضروفي يُسمى أيضًا أمفيارثروسيس[7])AM-fee-ar-THRO-sis(. في هذه المفاصل، ترتبط عظمتان بواسطة الغضروف)الشكل 9.4(. النوعان الرئيسيان من المفاصل الغضروفية هما *سينكوندروزيس وسيمفيسيس.*

سينكوندروزيس

السينكوندروزيس[8])SIN-con-DRO-sis(هو مفصل ترتبط في ه العظام بواسطة غضروف هياليني. مثال على ذلك هو المفصل المؤ قت بين المشاشة والعمود في العظم الطويل عند الطفل، والذي يتكو ن من غضروف لوح المشاشة. مثال آخر هو ارتباط الضلع الأول بالق ص بواسطة غضروف ضلعي هياليني.

[7]أمفي = من جميع الجوانب؛ *أرثر* = متصل؛ *أوسيس* = حالة
[8]سين = معًا؛ *خوندر*ا = غضروف؛ *أوسيس* = حالة



الشكل 9.4 المفاصل الغضروفية.
)أ(تزامن غضروفي، ممثل بالغضروف ال ضلعي الذي يربط الضلع 1 بعظمة القص.)
ب(التقاء العانة.
)ح(الأقراص بين الفقرات، التي تربط ا لفقرات المجاورة ببعضها البعض بواسط ة التقاءات.

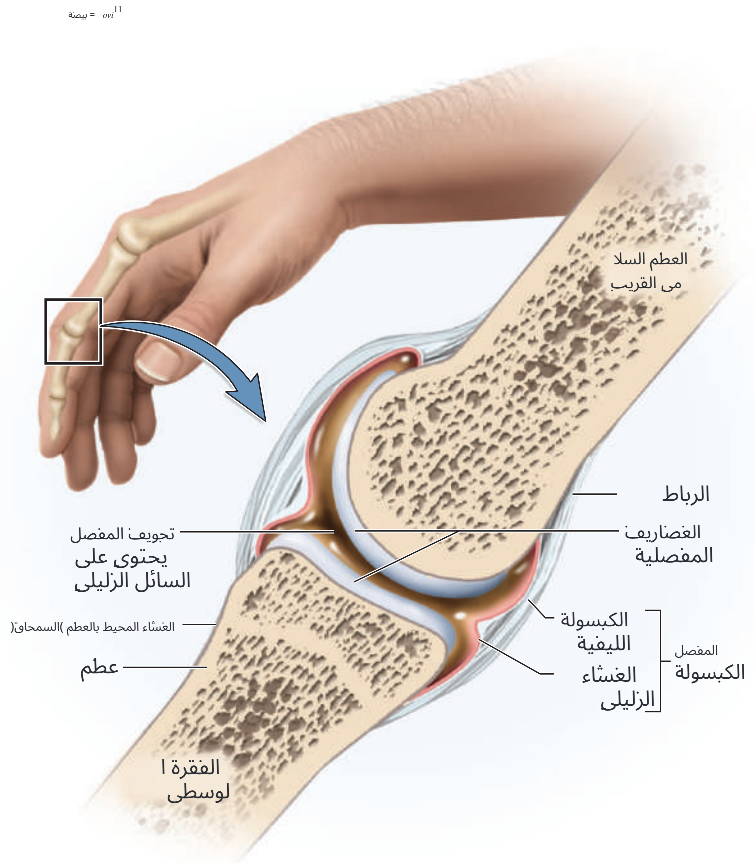
ما الفرق بين التقاء العانة وقرص بين العانة؟

9.2أ التشريح العام

فى المفاصل الزليلية، تكون الأسطح المواجهة للعظمتين مغطاة بغضروف المفصل، وهو طبقة من الغضروف الزجاجي بسماكة تصل إلى 2 أو 3 مم. تفصل هذه الأسطح مساحة ضيقة، وهى تجويف المفصل (المفصلية)، يحتوى على مادة زلقة تسمى السائل الزليلى (الشكل 9.5). هذا السائل، الذى سُمي به المفصل، غنى بالألبومين وحمض الهيالورونيك، مما يمنحه قوامًا لزجًا وزلقًا يشبه بياض البيض النيء.[11] يغذى غضاريف المفصل، ويزيل نفاياتها، ويجعل الحركات فى المفاصل الزليلية شبه خالية من الاحتكاك. يغلف تجويف المفصل نسيج صام يسمى كبسولة المفصل (المفصلية) ويحتفظ بالسائل. تتكون من كبسولة ليفية خارجية متصلة بغشاء العظم (السمحاق) للعظام المجاورة، و غشاء زليلى داخلى خلوى. يتكون الغشاء الزليلى بشكل رئيسى من خلايا شبيهة بالأرومات الليفية تفرز السائل، ويحتوى على البلاعم التى تزيل الحطام من تجويف المفصل.تُزود كبسولات المفاصل والأربطة بشكل جيد بـ أجسام صفائحية (انظر الفصل 16) ونهايات عصبية حسية أخرى تمكّن الدماغ من مراقبة وضع الأطراف وحركات المفاصل.

فى بعض المفاصل الزليلية، ينمو الغضروف الليفى من داخل كبسولة المفصل ويشكل وسادة بين العظام المتحركة. فى مفصل الفك (المفصل الصدغى الفكى)، وعند طرفى الترقوة (المفاصل القصية الترقوية والمفاصل الأخرمية الترقوية)، وبين عظم الزند وعظام الرسغ، تعبر الوسادة كامل كبسولة المفصل و

[11] ovi = بيضة



الشكل 9.5 هيكل مفصل زليلى بسيط.

لماذا لا تكون الغضروف الهلالى ضرورية فى مفصل بين السلاميات؟

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

1. ما الفرق بين علم المفاصل (علم المفاصل) وعلم الحركة؟
2. ميز بين الاندماج العظمى (synostosis)، والاتصال الثابت (synarthrosis)، والاتصال شبه المتحرك (amphiarthrosis).
3. عرف الخياطة (suture)، الغرز (gomphosis)، و الرباط المشترك (syndesmosis)، واشرح ما الذى تشترك فيه هذه المفاصل الثلاثة.
4. اذكر الأنواع الثلاثة للخياطات ووضح كيف تختلف عن بعضها.
5. اذكر اسميْن من السينكوندروز واسمَيْن من السيمفيسيس.
6. أعطِ بعض الأمثلة على المفاصل التى تتحول إلى التئام عظمى (synostoses) مع التقدم فى العمر.

9.2 المفاصل الزليلية (المفاصل السينوفية)

نتائج التعلم المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. تحديد المكونات التشريحية لمفصل زليلى نموذجى؛
ب. تصنيف أى حركة مفصلية معطاة كرافعة من الدرجة الأولى أو الثانية أو الثالثة؛
ج. شرح كيف يرتبط الميزة الميكانيكية بقوة وسرعة حركة المفصل؛
د. مناقشة العوامل التى تحدد مدى حركة المفصل؛
هـ. وصف المحاور الأساسية للدوران التى يمكن أن يمتلكها العظم وربط ذلك بدرجات حرية المفصل؛
و. تسمية ووصف ستة أنواع من المفاصل الزليلية؛ و
ز. استخدم المصطلحات القياسية الصحيحة لحركات المفاصل المختلفة.

نوع المفصل الأكثر شهرة هو المفصل الزليلى (sih-NO-vee-ul)، والذى يُسمى أيضًا المفصل الحركى[10] (DY-ar-THRO-sis). اطلب من معظم الناس الإشارة إلى أى مفصل فى الجسم، ومن المرجح أن يشيروا إلى مفصل زليلى مثل الكوع أو الركبة أو مفصل الأصبع. العديد من المفاصل الزليلية، مثل هذه الأمثلة، تتمتع بحرية حركة كبيرة. أما البعض الآخر، مثل المفاصل بين عظام الرسغ والكاحل وبين النتوءات المفصلية للفقرات، فلها حركة محدودة أكثر.

المفاصل الزليلية هى النوع الأكثر تعقيدًا من الناحية الهيكلية وهى النوع الأكثر عرضة لتطوير اختلالات مزعجة ومعيقة. إنها أهم المفاصل التى يجب على المتخصصين مثل المعالجين الفيزيائيين والمهنيين، المدربين الرياضيين، والممرضين، ومدربى اللياقة البدنية فهمها جيدًا. حركتها تجعل المفاصل الزليلية مهمة جدًا لجودة الحياة. فكر على سبيل المثال، فى الأداء المتطرف لرياضى شاب، التراجع فى المرونة الذى يأتى مع التقدم فى العمر، والتأثير المعوق لالتهاب المفاصل الروماتويدى. بقية هذا الفصل مكرسة للمفاصل الزليلية.

[10] dia = منفصل، بعيد؛ arthr = مفصل؛ osis = حالة

نظرة أعمق 9.1

التطبيق السريرى

التمرين والغضروف المفصلى

عندما يتم تسخين السائل الزليلى بواسطة التمرين، يصبح أقل لزوجة)أكثر سيولة(، مثل الزيت الدافئ، ويتم امتصاصه بسهولة أكبر بواسطة الغضروف المفصلى. ثم ينتفخ الغضروف ويوفر وسادة أكثر فعالية ضد الضغط. لهذا السبب، تساعد ف ترة الإحماء قبل التمرين الشديد فى حماية الغضروف المفصلى من التآكل والتمز ق غير الضرورى.

نظرًا لأن الغضروف غير وعائى، فإن الضغط المتكرر أثناء التمرين مهم لتغذيته وإزالة الفضلات منه. فى كل مرة يتم فيها ضغط الغضروف، يتم عصر السائل وال فضلات الأيضية خارجه. وعندما يُرفع الوزن عن المفصل، يمتص الغضروف السائ ل الزليلى مثل الإسفنجة المتوسعة، ويحمل السائل الأكسجين والمواد المغذية إل ى الخلايا الغضروفية)الخلايا الغضروفية(. بدون التمرين، يتدهور الغضروف المف صلى بسرعة أكبر بسبب نقص التغذية، والأكسجة، وإزالة الفضلات.

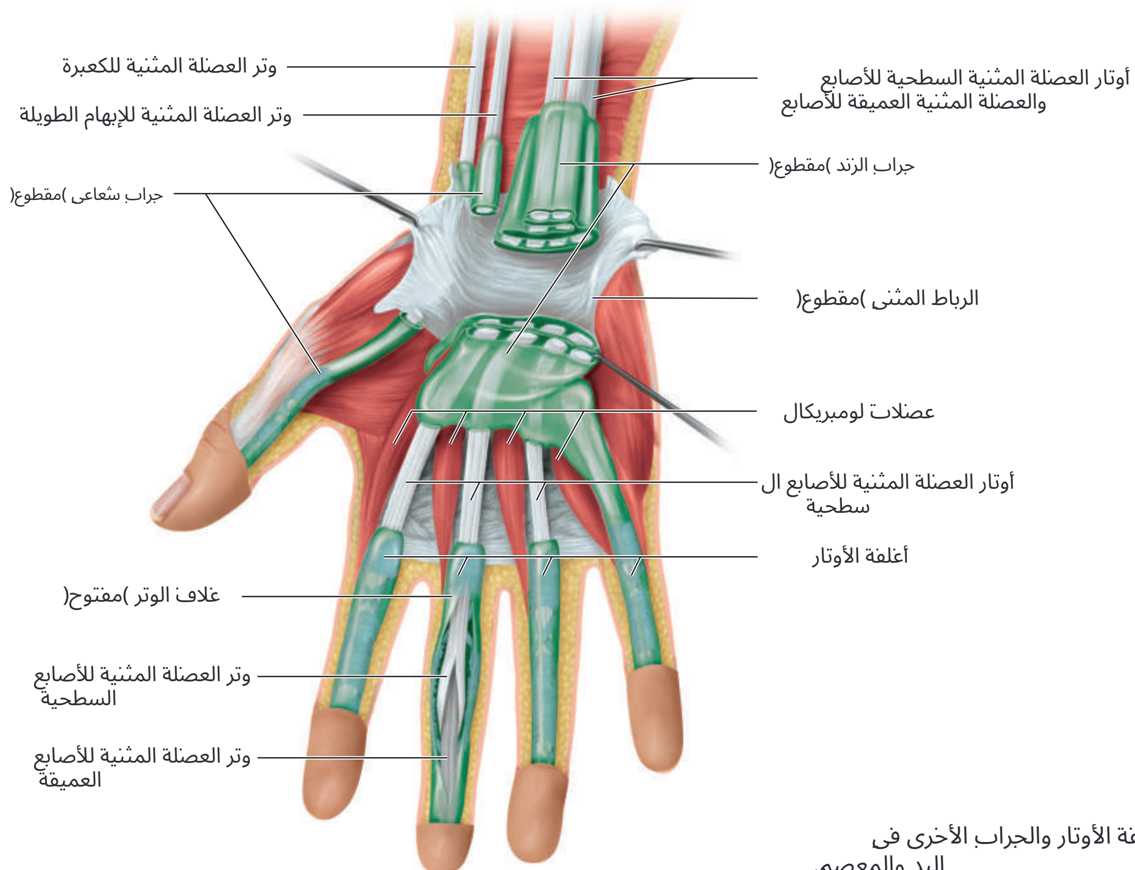
التمرين الذى يتحمل الوزن يزيد من كتلة العظام ويقوى العضلات التى تثبت ا لعديد من المفاصل، مما يقلل من خطر خلع المفاصل. ومع ذلك، يمكن للإجهاد ا لمفرط على المفاصل أن يسرع من تطور التهاب المفاصل التنكسى عن طريق إتلا ف الغضروف المفصلى)انظر نظرة أعمق 9.5(. السباحة وركوب الدراجات هما طر يقتان جيدتان لممارسة المفاصل مع الحد الأدنى من الضرر.

يُسمى القرص المفصلى)انظر الشكل 9.23c(. فى الركبة، تمتد غضا ريفان من اليسار واليمين لكنها لا تعبر المفصل بالكامل)انظر الشكل 9.28d(. يُطلق على كل منهما الغضروف الهلالى[12] بسبب شكله الهلالى. تمتص هذه الغضاريف الصدمات والضغط، وترشد العظام ع بر بعضها البعض، وتحسن التوافق بين العظام، وتثبت المفصل، مما يقلل من فرصة الخلع.

الهياكل الملحقة المرتبطة بالمفصل الزليلى تشمل الأوتار، الأربط ة، والجراب. الوتر هو شريط أو ورقة من نسيج ضام كولاجينى قوى ير بط العضلة بالعظم. غالبًا ما تكون الأوتار أهم الهياكل فى تثبيت المف صل. الرباط هو نسيج مشابه يربط عظمًا بعظم آخر. تم تسمية العدي د من الأربطة وتوضيحها فى مناقشتنا للمفاصل الفردية لاحقًا فى هذا الفصل، ويتم تناول الأوتار بشكل أكثر تفصيلًا فى الفصل 10 إلى جان ب التشريح العام للعضلات.

كيس الجراب[13] هو كيس ليفى يحتوى على سائل زليلى يقع بين العضلات المجاورة، حيث يمر وتر فوق عظم، أو بين العظم والجلد)ان ظر الشكل 9.24(. تعمل الأكياس على توسيد العضلات، وتساعد الأو تار على الانزلاق بسهولة أكبر فوق المفاصل، وأحيانًا تعزز التأثير الميكا نيكى للعضلة عن طريق تعديل الاتجاه الذى يسحب فيه وترها. أغلفة الأوتار)الزليلية(هى أكياس أسطوانية طويلة ملفوفة حول وتر، وتُرى بشكل خاص فى اليد والقدم)الشكل 9.6(. تمكن الأوتار من التحرك ذهابًا وإيابًا بحرية أكبر فى الأماكن الضيقة مثل الرسغ والكاحل.

[12] *رجل* = قمر، هلال؛ *isc* = صغير
[13] *جراب* = حقيبة



الشكل 9.6 أغلفة الأوتار والجراب الأخرى فى اليد والمعصم.

9.2ب المفاصل وأنظمة الروافع

تعمل العديد من العظام، وخاصة العظام الطويلة، كرافعات لتعزيز سر عة أو قوة حركات الأطراف. الرافعة هى أى جسم صلب ومطول يدور حول نقطة ثابتة تسمىنقطة الارتكاز

)الشكل ٧.٩(.يحدث الدوران عندما يتغلب الجهد المطبق على نقطة و احدة على الرافعة على مقاومة)حمل(فى نقطة أخرى.

الجزء من الرافعة من نقطة الارتكاز إلى نقطة الجهد يسمىذراع الجهد، والجزء من نقطة الارتكاز إلى نقطة المقاومة يسمىذراع المقاومة.فى ا لتشريح العظمى، تكون نقطة الارتكاز هى المفصل؛ ويطبق الجهد بوا سطة العضلة؛ والمقاومة يمكن أن تكون جسمًا يعمل الجسم ضده) كما فى رفع الأثقال(، أو وزن الطرف نفسه، أو التوتر فى عضلة معاك سة.

الرافعات، السرعة، والقوة

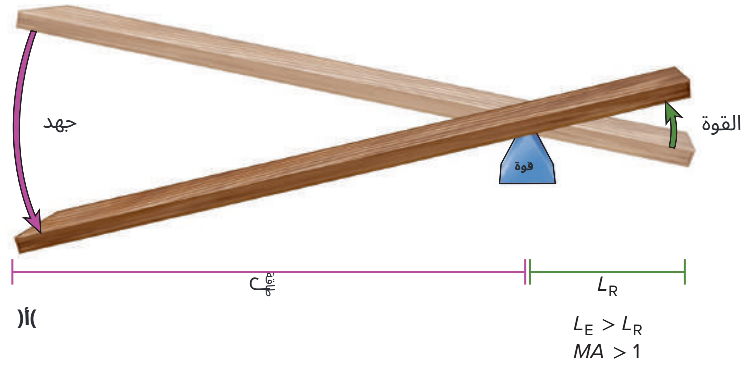
وظيفة الرافعة هى تحقيق مكسب فى السرعة أو المسافة أو القوة للح ركة—إما لممارسة قوة أكبر ضد جسم مقاوم مقارنة بالقوة المطبقة ع لى الرافعة)على سبيل المثال، فى تحريك جسم ثقيل بواسطة عتلة(، أ و لتحريك الجسم المقاوم لمسافة أبعد أو بسرعة أكبر من ذراع الجهد) كما فى تجديف القارب، حيث يتحرك نصل المجداف أبعد وأسرع بك ثير من المقبض(. لا يمكن لرافعة واحدة أن تمنح كلا الميزتين. هناك مقايضة بين القوة من جهة والسرعة أو المسافة من جهة أخرى—فعند ما تزداد إحداهما، تنقص الأخرى.

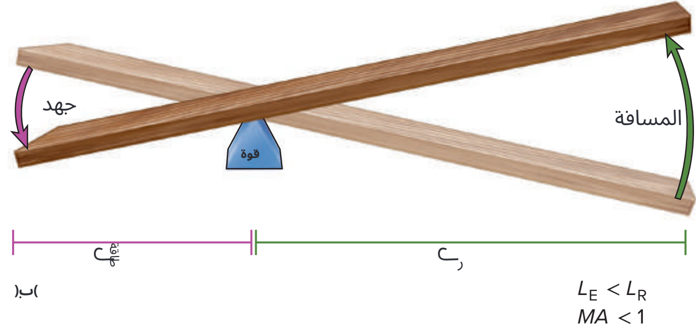
الميزة الميكانيكية (MA) للرافعة هى نسبة قوة الخرج إلى قوة الإد خال. إذا كانL_Eهو طول ذراع الجهد وL_Rهو طول ذراع المقاومة،

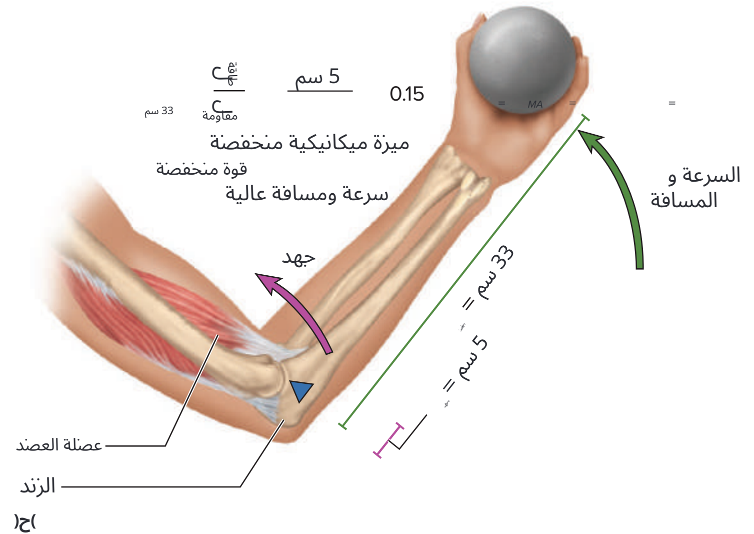
$$MA = L_E/L_R.$$

إذا كانتMAأكبر من ٠.١، تنتج الرافعة قوة أكبر، ولكن بسرعة أو مسا فة أقل، مقارنة بالقوة المطبقة عليها. وإذا كانتMAأقل من ٠.١، تنتج الرافعة سرعة أو مسافة أكبر، ولكن قوة أقل، مقارنة بالقوة المدخلة)ا لشكل ٨.٩أ، ب(.

خذ، على سبيل المثال، عمل عضلة العضد)البراكياليس(على ع ظم الزند عند ثنى المرفق)الشكل ٨.٩ح(.سنعتبر عظم الزند كرافعة وال يد، مع ما تحمله، كـ

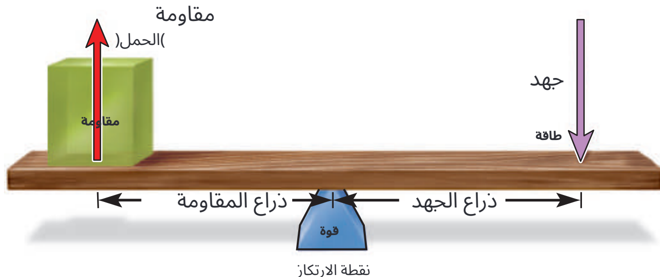






الشكل 9.8 الميزة الميكانيكية **(MA).**)أ($MA > 1$ فى رافعة من الدرجة الأول ى حيث $L_E > L_R$)ب($MA < 1$ فى رافعة من الدرجة الأولى حيث $L_E < L_R$)ح($MA < 1$ فى الساعد؛ عندما يؤثر عليه عضلة العضد)brachialis(، هذه رافعة من الدر جة الثالثة.

الحمل أو المقاومة التى يتم تحريكها. محور هذا الرافعة هو مفصل الع ضد-الكعبرة)مفصل الكوع(. وتر العضلة العضدية)brachialis(يرتبط بعظم الزند)ulna(فقط قليلاً أسفل المفصل، لذا فإن ذراع الجهد ق صير جداً. يمتد ذراع المقاومة من المفصل إلى الحمل على العضلة)م ثل الوزن فى اليد(، لذا فإن L_R أكبر بكثير من L_E بالنظر إلى عظم زند نموذجى يبلغ طوله 5 سم من المفصل إلى وتر العضلة العضدية و33 سم من المفصل إلى الحمل، فإن الميزة الميكانيكية ستكون MA 5/33 = 0.15. كما هو متوقع، مع هذه $MA < 1$، تتحرك اليد بسرعة وم سافة أكبر من نقطة ارتباط العضلة العضدية.



الشكل ٧.٩المكونات الأساسية للرافعة.هذا المثال هو رافعة من الدرجة الأول ى.

ما هى الميزة الميكانيكية للرافعة الموضحة هنا؟ أين ستضع نقطة الارتكاز لزيادة الميزة الميكانيكية دون تغيير نوع الرافعة؟

نطاق الحركة

أحد جوانب أداء المفصل والتقييم البدني للمريض هو مرونة المفصل، أو نطاق الحركة (*ROM*)— الدرجات التي يمكن للمفصل أن يتحرك خلالها. على سبيل المثال، يمكن للركبة أن تثنى خلال قوس من 130° إلى 140°، ومفصل السلاميات المشطية للإصبع السبابة حوالي 90°، والكاحل حوالي 74°. يؤثر نطاق الحركة بوضوح على استقلالية الشخص الوظيفية وجودة الحياة. كما أنه اعتبار مهم في التدريب الرياضي أو الرقص، وفي التشخيص السريري، ومراقبة تقدم التأهيل. يتم تحديد نطاق الحركة للمفصل عادةً بواسطة العوامل التالية:

- هيكل الأسطح المفصلية للعظام. في العديد من الحالات، يقتصر حركة المفصل على أشكال أسطح العظام. على سبيل المثال، لا يمكنك فرد مرفقك إلى أكثر من 180° تقريبًا لأنه، مع فرده، يتحرك الزائدة الزندية لعظم الزند إلى حفرة الزائدة الزندية لعظم العضد وتمنع الحفرة تحركه أكثر من ذلك.
- **قوة وشد الأربطة وكبسولات المفصل.** تفرض بعض أسطح العظام قيودًا قليلة أو لا تفرض أي قيود على حركة المفصل. تمثل مفاصل السلاميات مثالًا على ذلك؛ كما يمكن ملاحظته عند فحص هيكل عظمي جاف، يمكن لمفصل السلاميات أن ينثني خلال قوس واسع. ومع ذلك، في الجسم الحي، ترتبط هذه العظام بأربطة تحد من حركتها. عند ثني أحد مفاصل أصابعك، ترتخي الأربطة على الجانب الأمامي (الراحي) للمفصل، لكن الأربطة على الجانب الخلفي (الظهري) تشد وتمنع المفصل من الانثناء أكثر من حوالي 90°. الركبة مثال آخر. عند ركل كرة القدم، تمتد الركبة بسرعة إلى حوالي 180°، لكنها لا تستطيع أن تمتد أكثر من ذلك. تقتصر حركتها جزئيًا بواسطة *الرباط الصليبي* وأربطة الركبة الأخرى التي سيتم وصفها لاحقًا.
يزيد لاعبو الجمباز والراقصون والأكروبات *نطاق الحركة* لمفاصلهم الزليلية عن طريق تمديد أربطتهم تدريجيًا أثناء التدريب. الأشخاص الذين يُطلق عليهم "ذوو المفاصل المزدوجة" لديهم *نطاق حركة* غير عادي في بعض المفاصل، ليس لأن المفصل فعليًا مزدوج أو مختلف جوهريًا في تشريحه، بل لأن الأربطة طويلة أو مرتخية بشكل غير عادي.
- عمل العضلات والأوتار. يقتصر امتداد الركبة أيضًا بواسطة عضلات أوتار الركبة على الجانب الخلفي من الفخذ. في العديد من المفاصل الأخرى أيضًا، تتقابل أزواج من العضلات وتتحكم في سرعة ونطاق حركة المفصل. حتى العضلة المسترخية تحافظ على حالة من التوتر تسمى توتر العضلات، والتي تخدم في كثير من الحالات لتثبيت المفصل. أحد العوامل الرئيسية التي تمنع خلع مفصل الكتف، على سبيل المثال، هو التوتر في عضلة العضد ذات الرأسين ، التي تعبر أوتارها المفصل، وتثبت على الكتف، وتحافظ على رأس عظم العضد مقابل التجويف الحقاني. يراقب الجهاز العصبي باستمرار زوايا المفاصل وتوتر العضلات لضمان استقرار المفصل وتقييد الحركات غير المرغوب فيها.

محاور الدوران

في الهندسة الصلبة، نعترف بثلاثة محاور متعامدة متبادلة، x و y و z. في التشريح، تتوافق هذه مع المستويات العرضية، الجبهية، والسهمية للجسم. تمامًا كما يمكننا وصف أي نقطة

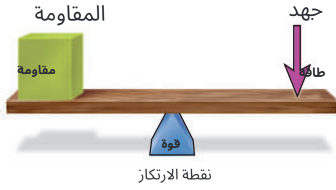
في الفصل العاشر، ستجد غالبًا أن عضلتين أو أكثر تعملان على نفس المفصل، ويبدو أنهما تنتجان نفس التأثير. قد يبدو هذا تكرارًا، لكنه منطقي إذا كانت نقاط ارتباط الأوتار للعضلات تقع في أماكن مختلفة على العظم وتنتج مزايا ميكانيكية مختلفة. على سبيل المثال، يستخدم العداء عند الانطلاق من خط البداية عضلات "التروس المنخفضة" (عالية *MA* التي لا تولد سرعة كبيرة، لكنها تمتلك القوة لتجاوز قصور ذات الجسم. ثم "ينتقل إلى الترس العالي" باستخدام عضلات ذات نقاط ارتباط مختلفة تمنح ميزة ميكانيكية أقل لكنها تنتج سرعة أكبر عند القدمين. هذا يشبه طريقة استخدام ناقل حركة السيارة لتشغيل السيارة بتروس معينة وللقيادة بسرعات أعلى بتروس أخرى.

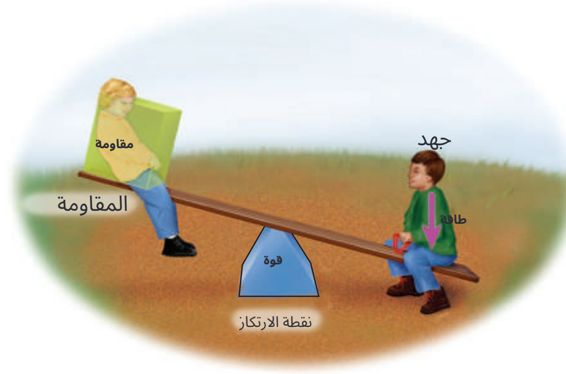
أنواع الروافع

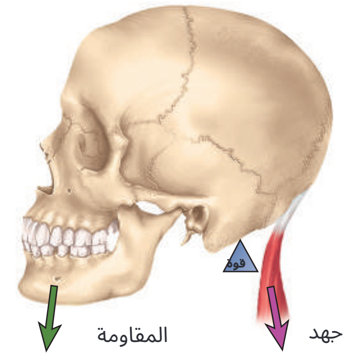
هناك ثلاث فئات من الروافع تختلف حسب أي مكون يكون في الوسط — نقطة الارتكاز (F)، الجهد (E)، أو المقاومة (R) (الشكل 9.9).

1. الروافع من الدرجة الأولى هي التي تكون فيها نقطة الارتكاز في الوسط (EFR)، مثل الأرجوحة. مثال تشريحي هو مفصل الأطلس-القذالي في الرقبة، حيث تسحب عضلات الجزء الخلفي من الرقبة عظم القذالي للجمجمة للأسفل وتقاوم ميل الرأس إلى الأمام. فقدان توتر العضلات هنا قد يكون محرجًا إذا غفوت في الصف. تأرجح القدم على عظم الساق عند رفع وخفض الأصابع يمثل أيضًا رافعة من الدرجة الأولى. (غالبًا ما يُساء تفسيرها على أنها رافعة من الدرجة الثانية بسبب التشابه السطحي بين الوقوف على أطراف الأصابع ومثال عربة اليد الذي يلي ذلك.)
2. الرافعة من الدرجة الثانية لها المقاومة في الوسط (FRE). رفع مقابض عربة اليد، على سبيل المثال، يجعلها تدور حول محور العجلة في الطرف المقابل وترفع حمولة في الوسط. إذا جلست على كرسي ورفعت فخذًا واحدًا، مثلما تهز طفلًا على ركبتك، فإن عظم الفخذ يدور حول مفصل الورك (نقطة الارتكاز)، وعضلة رباعية الرؤوس في الفخذ الأمامي ترفع عظم الساق مثل مقابض عربة اليد، والمقاومة هي وزن الطفل أو وزن الفخذ نفسه.
3. في الرافعة من الدرجة الثالثة، يُطبق الجهد بين نقطة الارتكاز والمقاومة (REF). على سبيل المثال، عند تجديف زورق الكانو، يكون المقبض الثابت نسبيًا في الطرف العلوي من المجداف هو نقطة الارتكاز، ويُطبق الجهد في منتصف العمود، والمقاومة تنتج من الماء ضد الشفرة.
معظم الروافع العضلية الهيكلية هي من الدرجة الثالثة. يعمل الساعد كرافعة من الدرجة الثالثة عند ثني المرفق. نقطة الارتكاز هي المفصل بين عظم الزند وعظم العضد، ويُطبق الجهد جزئيًا بواسطة عضلة العضد ذات الرأسين، والمقاومة يمكن أن تكون أي وزن في اليد أو وزن الساعد نفسه.

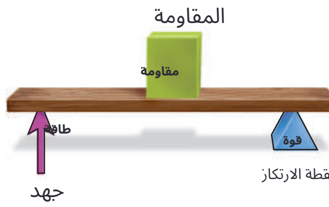
يتغير تصنيف الرافعة أثناء أدائها لأفعال مختلفة. نستخدم الساعد كرافعة من الدرجة الثالثة عندما نثني المرفق، كما في رفع الأثقال، لكننا نستخدمه كرافعة من الدرجة الأولى عندما نمده، كما في طرق المسامير. الفك السفلي هو رافعة من الدرجة الثانية عندما نفتح الفم ورافعة من الدرجة الثالثة عندما نغلقه لعض قطعة من الطعام.

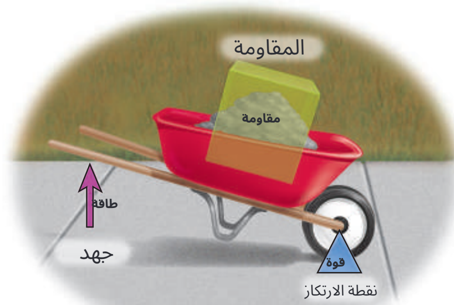


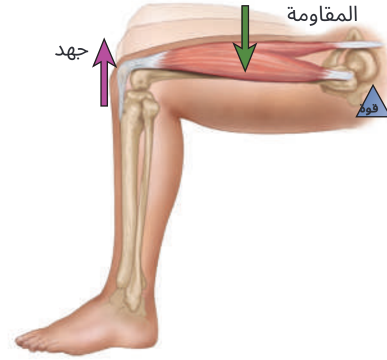




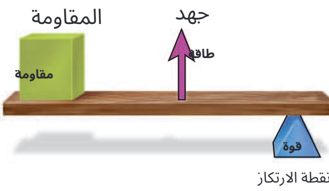
)أ(رافعة من الدرجة الأولى



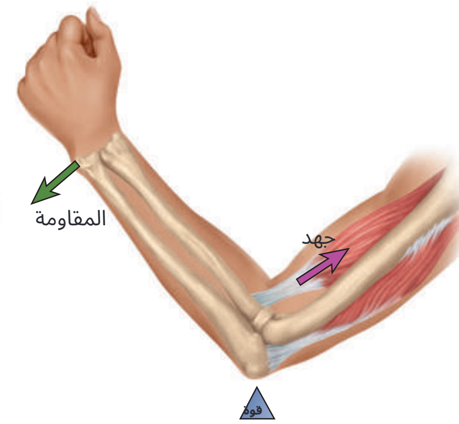




)ب(رافعة من الدرجة الثانية







)ح(رافعة من الدرجة الثالثة

الشكل 9.9 الفئات الثلاث للرافعات. اليسار: فئات الرافعات المحددة بمواقع المقاومة)الحمل(، نقطة الارتكاز، والجهد. الوسط: أمثلة ميكانيكية. اليمين: أمثلة تشريحية.)أ(عضلات الجزء الخلفى من الرقبة تسحب عظم القذالى للأسفل لمعارضة ميل الرأس للسقوط إلى الأمام. نقطة الارتكاز هى اللقمتان القذاليتان.)ب(عضلة رباعية الرؤوس فى الفخذ الأمامى ترفع الركبة. نقطة الارتكاز هى مفصل الورك.)ح(عند ثنى المرفق، تمارس عضلة العضد ذات الرأسين جهدًا على الكعبرة. المقاومة تتمثل فى وزن الساعد أو أى شىء ممسك باليد. نقطة الارتكاز هى مفصل المرفق.

رأس العضد المحدب يدخل فى التجويف الحقّى المقعر للكتف. إذا رفعت ذراعك إلى جانب جسمك، يدور رأس العضد على محور يمر من الأمامى إلى الخلفى؛ يرتفع الذراع فى المستوى الجبهى بينما محور دورانه فى المستوى السهمى. إذا رفعت ذراعك لتشير إلى شىء أمامك مباشرة، يتحرك عبر المستوى السهمى بينما محور دورانه فى المستوى الجبهى، ويمر عبر الكتف من الجانب إلى الوسط. وإذا قمت بتحريك ذراعك

فى الفضاء بواسطة إحداثياته x، y، و z ، يمكننا وصف أى حركة مفصل بالإشارة إلى المستويات التشريحية العرضية، الجبهية، أو السهمية.

العظم المتحرك له محور دوران ثابت نسبيًا يمر عبر العظم فى اتجاه عمودى على مستوى الحركة. فكر فى الباب كمقارنة؛ فهو يتحرك أفقيًا عند فتحه وإغلاقه، ويدور على مفصلات موجهة على المحور الرأسى. الآن فكر فى مفصل الكتف)الشكل 9.10(، حيث

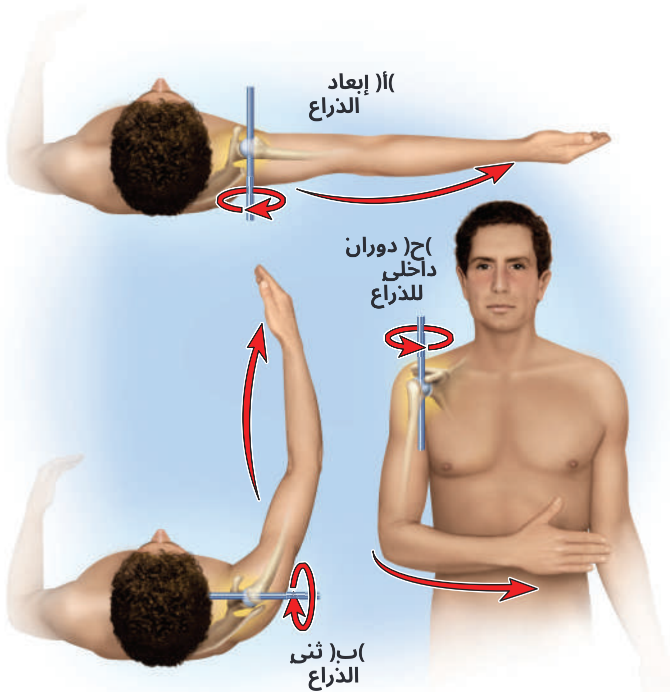
قادرة على الحركة في مستويين. لتوضيح ذلك، امسك يدك وكفها مواجه لك. اصنع قبضة، وهذه المفاصل تنثني في الم ستوى السهمي. افرد أصابعك، وهي تتحرك في المستوى ا لجبهي.

3. المفاصل السرجية. هنا، كلا العظمتين لهما سطح على شكل سرج—مقعر في اتجاه واحد)مثل تقوس السرج من ا لأمام إلى الخلف(ومحدب في الاتجاه الآخر)مثل تقوس السرج من اليسار إلى اليمين(. أوضح مثال على ذلك هو المفصل السر جي بين عظم الترقوة)التربزيوم(في المعصم وعظم المشط الأو ل عند قاعدة الإبهام.
المفاصل السرجية هي مفاصل ثنائية المحور. على سبيل المثا ل، يتحرك الإبهام في مستوى أمامي عندما تفرق بين الأصابع، وفي مستوى سهمي عندما تحركه كما لو كنت تمسك بأداة م ثل المطرقة. تمنحنا هذه الحركة ونسأن الرئيسيات الأخرى هذه ا لسمة التشريحية القيمة، وهي الإبهام المعاكس.
مفصل سرج آخر هو المفصل القصي الترقوي، حيث يتصل ال ترقوة بالقص. تتحرك الترقوة عمودياً في المستوى الأمامي عند هذا المفصل عندما ترفع حقيبة، وتتحرك أفقياً في الم ستوى العرضي عندما تمد يدك للأمام لدفع باب مفتوح.

4. المفاصل المستوية)الانزلاقية(. هنا تكون أسطح العظام م سطحة أو مقعرة ومحدبة قليلاً فقط. تنزلق العظام المجاورة فو ق بعضها البعض وتتمتع بحركة محدودة نسبياً. توجد المفاصل ا لمستوية بين عظام الرسغ)العظام الرسغية(، وعظام الكاحل)ا لعظام الرسغية(، والزوائد المفصلية للفقرات. حركاتها، رغم ص غرها، معقدة.
عادةً ما تكون ثنائية المحور. على سبيل المثال، عندما يميل الرأس للأمام والخلف، تنزلق الوجوه المفصلية للفقرات إلى الأ مام والخلف؛ وعندما يميل الرأس من جانب إلى آخر، تنزلق الوج وه جانبياً. على الرغم من أن أي مفصل واحد يتحرك قليلاً فقط، فإن العمل المشترك للعديد من المفاصل في الرسغ والكاحل وا لعمود الفقري يسمح بحركة إجمالية كبيرة.

5. المفاصل المحورية. هذه في الأساس مفاصل أحادية المحور، تتحرك بحرية في مستوى واحد مع حركة قليلة جداً في أي اتجاه آخر، مثل مفصل الباب. بعض الأمثلة هي الكوع، الركبة، والم فاصل بين السلاميات)أصابع اليد والقدم(. في هذه الحالات، ي كون لأحد العظام سطح محدب)لكن ليس نصف كروي(، مثل التروكليا لعظم العضد والنتوءات لعظم الفخذ. يتناسب هذا مع تجويف مقعر في العظم الآخر، مثل شق التروكليا لعظم الز ند والنتوءات لعظم الطنبوب.

6. المفاصل المحورية. هذه مفاصل أحادية المحور يدور فيها العظم حول محوره الطولي مثل عجلة دراجة تدور على محورها. هناك مثالان رئيسيان:
المفصل الأطلسي المحوري بين الفقرتين الأولى والثانية، وا لمفصل الكعبر الزندي عند الكوع. في المفصل الأطلسي المح وري، يبرز السن المحوري)dens(في الثقبة الفقرية للأطلس ويثبت مقابل القوس الأمامي للأطلس بواسطة الرباط العر ضي)انظر الشكل 8.26ح(. عندما يدور الرأس يميناً ويساراً ، يدور الجمجمة والأطلس حول السن المحوري. في المفصل الكعبر الزندي، يلتف الرباط الحلقي للزند حول عنق الكعبرة. أثنا ء حركة التدوير)pronation(والتراجع)supination(للساعد، يدور رأس الكعبرة القرصي مثل عجلة تدور على محورها. يد ور حافة العجلة ضد الشق الكعبر الزندي للزند مثل إطار سيارة يد ور في الثلج.



الشكل 9.10 محاور دوران المفصل.)أ(إبعاد الذراع في المستوى الأمامي.)ب(ثني الذراع في المستوى السهمي.)ح(الدوران الداخلي للذراع. تمثل جميع المحاور الثلاثة في حركات المفصل الكروي متعدد المحاور للكتف.

عند تحريك الذراع في قوس أفقي، على سبيل المثال للإمساك بالكت ف المقابل، يدور رأس العضد في المستوى العرضي ويمر محور دورا نه عمودياً عبر المفصل.
نظرًا لأن الذراع يمكنه التحرك في جميع المستويات التشريحية ا لثلاثة، يقال إن مفصل الكتف يمتلك ثلاث درجات حرية، أو أنه مف صل متعدد المحاور. تتحرك المفاصل الأخرى عبر مستوى واحد أو اث ين فقط؛ لذا فهي تمتلك درجة أو درجتين من الحرية وتسمى مفاصل أحادية المحور و ثنائية المحور على التوالي. درجات الحرية هي عامل يُ ستخدم في تصنيف المفاصل الزليلية.

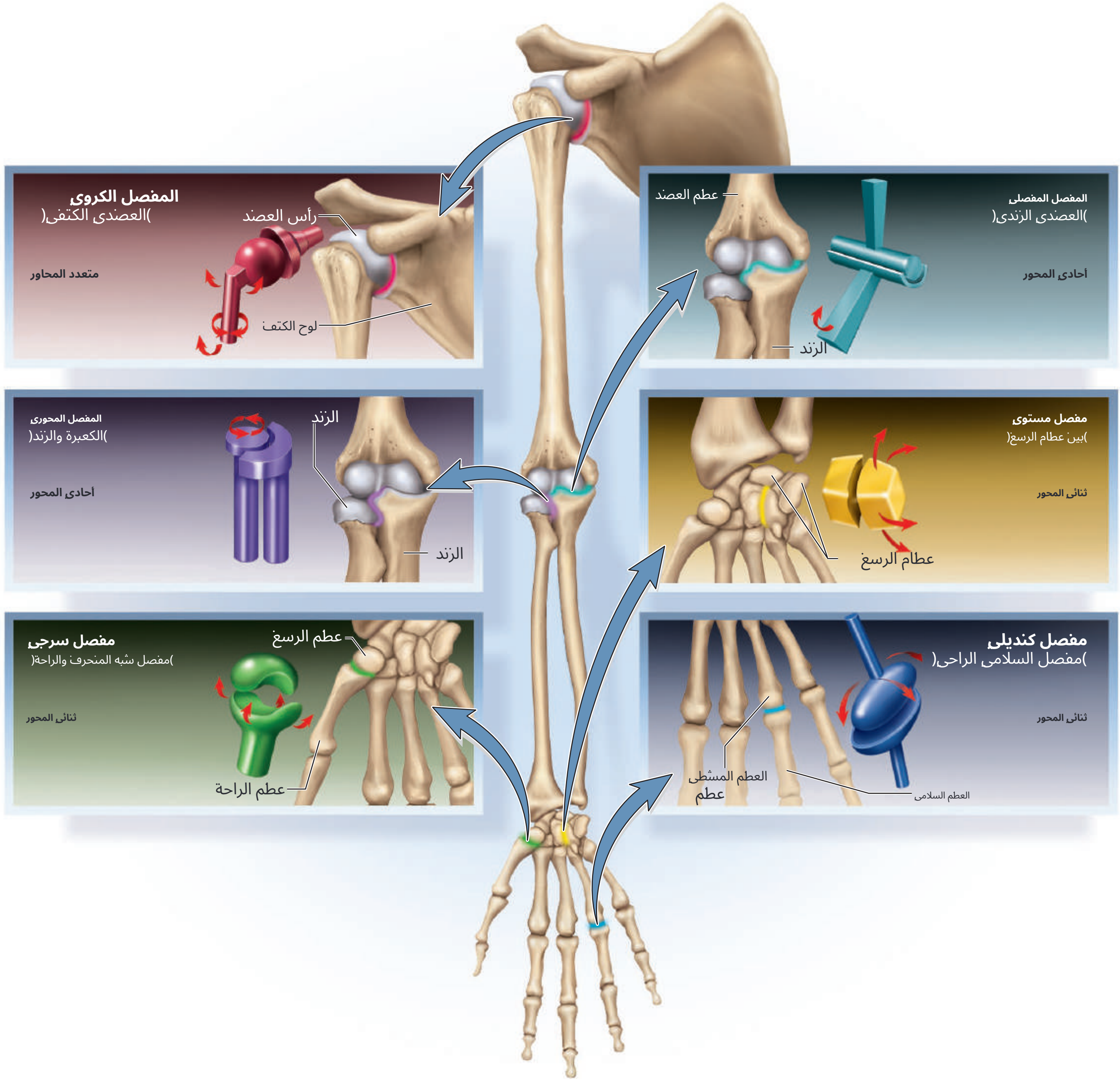
أنواع المفاصل الزليلية

هناك ستة أنواع أساسية من المفاصل الزليلية، تُميز بأشكال أسطحها المفصلية ودرجات حريتها. سنبدأ بالنظر إلى هذه الأنواع الستة بشكل مبسط، لكننا سنرى أن هذا التصنيف غير كامل لأسباب ستُناقش ف ي النهاية. يمكن العثور على جميع الأنواع الستة في الطرف العلوي

)الشكل 9.11(. وهي مدرجة هنا بترتيب تنازلي من حيث الحركة: نوع واحد متعدد المحاور)كرة ومقبس(، وثلاثة أنواع ثنائية المحور)مفصل غضروفي، سرجي، ومستوي(، ونوعان أحادي المحور)مفصل مفصلي ومحور دوار(.

1. مفاصل الكرة والمقبس. هذه هي مفاصل الكتف والورك —وهي المفاصل الوحيدة متعددة المحاور في الجسم. في كل تا الحالتين، يمتلك عظم واحد)العضد أو عظم الفخذ(رأسًا نصف كروي ناعم يلائم تجويفًا يشبه الكأس في العظم الآخر)تجويف الجلينويد في الكتف أو الحُقّ في عظم الورك(.

2. مفاصل غضروفية)إهليلجية(. تظهر هذه المفاصل سطحًا محد بًا بيضاوي الشكل على عظم واحد يتناسب مع تجويف مكمل ال شكل على العظم الآخر. مفصل الرسغ الراديوكاربي ومفاص ل السلاميات المشطية)MET-uh-CAR-po-fah-LAN-jee-ul(عند قواعد الأصابع هي أمثلة. إنها مفاصل ثنائية المحور



الشكل 9.11 الأنواع الستة للمفاصل الزليلية. جميع الأنواع الستة موجودة فى الطرف الأمامى. تُظهر النماذج الميكانيكية أنواع الحركة الممكنة فى كل مفصل.

فمك أثناء دفع الفك إلى الخلف بكعب يدك؛ من الصعب فتح الفم أكثر من 1 أو 2 سم عندما يكون هناك مقاومة لدفع الفك السفلى للأمام.
الركبة هى مفصل مفصلى كلاسيكى، لكنها تحتوى على عنصر م ن نوع المحور؛ عندما نقفل ركبنا للوقوف بسهولة أكبر، يدور عظم الفخ ذ قليلاً على عظم الساق. مفصل العضد والكعبرة يعمل كمفصل مف صلى عند ثنى الكوع ومفصل محورى عند تدوير الساعد.

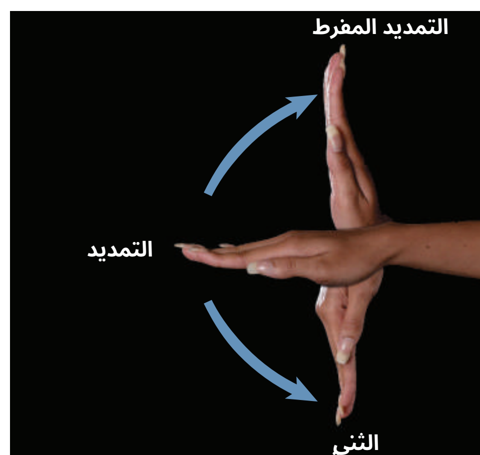
بعض المفاصل لا يمكن تصنيفها بسهولة ضمن أى من هذه الفئات الست على سبيل المثال، مفصل الفك يحتوى على بعض خصائص المفاصل الكونديلارية، والمفاصل المفصلية، والمفاصل المستوية. من الواضح أنه يحتوى على كونديل ممدود حيث يلتقى بعظم الصدغى فى الجمجمة، لكنه يتحرك بطريقة مفصلية عندما يتحرك الفك السفلى لأعلى ولأسفل أثناء الكلام، والعض، والمضغ؛ وينزلق قليلاً إلى الأمام عندما يندفع الفك للأمام لأخذ قضمة؛ وينزلق من جانب إلى آخر لطحن الطعام بين الأضراس. لملاحظة أهمية الانزلاق الأمامى، حاول فتح

الثنى والتمديد

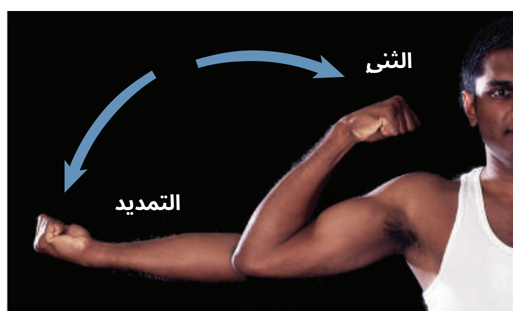
الثنى)الشكل ٢١.٩(هو حركة تقلل زاوية المفصل، عادة فى المستو ى السهمى. هذا شائع بشكل خاص فى المفاصل المفصلية — على سبيل المثال، ثنى المرفق بحيث ينتقل الذراع والساعد من زاوية ٠٨١ ° إلى ٠٩ ° أو أقل. يحدث هذا أيضًا فى أنواع أخرى من المفاصل. على سبيل المثال، إذا مددت يديك وراحتا اليدين إلى الأعلى، فإن ثنى الم عصم يميل راحتى اليدين نحوك. معنى *الثنى* قد يكون أقل وضوحًا فى مفاصل الكرة والتجويف فى الكتف والورك. فى الكتف، يعنى رفع ذراعك كما لو كنت تشير إلى شىء أمامك مباشرة أو الاستمرار فى ه ذا القوس والإشارة نحو السماء. فى الورك، يعنى رفع الفخذ، على س بيل المثال لوضع قدمك على الدرجة الأعلى عند صعود السلم.

٢.٩ح حركات المفاصل الزليلية

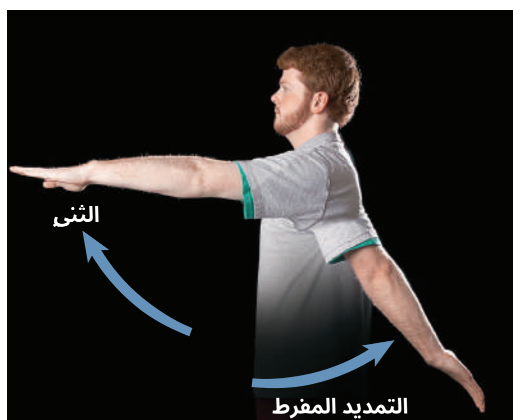
علم الحركة، العلاج الطبيعى، وغيرها من المجالات الطبية والعلمية لد يها مفردات محددة لحركات المفاصل الزليلية. تشكل المصطلحات ا لتالية أساسًا لوصف حركات العضلات فى الفصل ٠١ وقد تكون ضرو رية أيضًا لدراستك المتقدمة أو مسيرتك المهنية المستقبلية. تقدم ه ذه الفقرة مصطلحات حركات المفاصل، والتى كثيرًا ما تُعرض فى أزوا ج أو مجموعات ذات معانٍ متقابلة أو متضادة. تعتمد هذه الفقرة على الإلمام بالطبقات التشريحية الثلاث الأساسية والمصطلحات الاتجاه ية فى الملحق أ، الجدول أ.١. جميع المصطلحات الاتجاهية المستخدم ة هنا تشير إلى شخص فى الوضع التشريحى القياسى. عندما يقف ال شخص فى الوضع التشريحى، يُقال إن كل مفصل فى وضعه الصفر ى. يمكن وصف حركات المفاصل بأنها انحراف عن الوضع الصفرى أو العودة إليه.



)ب(



)أ(



)ح(



)د(

الشكل 9.12 الثنى والتمديد.)أ(ثنى وتمديد المرفق.)ب(ثنى، تمديد، وفر ط التمديد للمعصم.)ح(ثنى وفرط تمديد الكتف.)د(ثنى وتمديد الورك والركبة.

أ–د: تيموثى ل. فاكيولا/كين سالادين

الابتعاد والإقتراب

الابتعاد[15] (ab-DUC-shun))الشكل 9.13a(هو حركة جزء من الحل
سم فى المستوى الأمامى بعيدًا عن خط الوسط للجسم—على سبيل ا
لمثال، تحريك القدمين بعيدًا للوقوف مع تباعد الساقين، أو رفع الذرا
ع إلى جانب واحد من الجسم. الإقتراب[16])الشكل 9.13b(هو حركة
فى المستوى الأمامى تعود باتجاه خط الوسط. بعض المفاصل يمكن
أن تُفرط فى الإقتراب، كما عندما تقف مع تقاطع الكاحلين، أو تعقد أ
صابعك، أو تفرط فى إقتراب الكتف لتقف مع مرفقيك مستقيمين و
يديك متشابكتين أسفل خصرك. أنت تفرط فى الابتعاد عن الذراع إ
ذا رفعته عاليًا بما يكفى لتتجاوز قليلاً أمام أو خلف رأسك.

الرفع والخفض

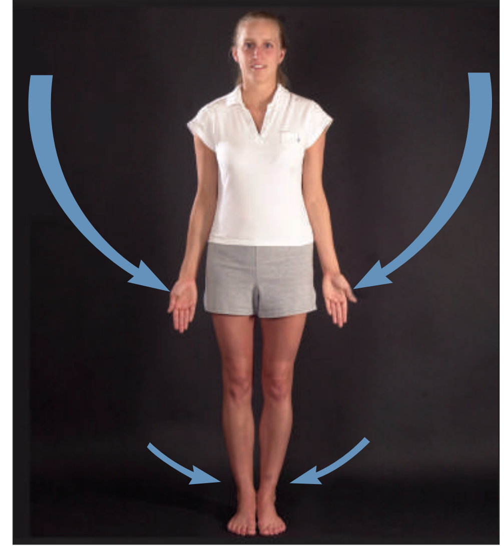
الرفع)الشكل 9.14a(هو حركة ترفع جزءًا من الجسم
عموديًا فى المستوى الأمامى. الخفض)الشكل 9.14b(يخفض جزءًا من الجسم.

[15] ab = بعيد؛ duc = يقود أو يحمل
[16] ad = نحو؛ duc = يقود أو يحمل

التمديد)الشكل 9.12(هو حركة تقوم بتقويم
مفصل وعادةً ما تعيد جزء الجسم إلى الوضع الصفرى—على سبيل
المثال، تقويم المرفق أو الرسغ أو الركبة، أو إعادة
الذراع أو الفخذ إلى الوضع الصفرى. عند صعود الدرج، يتم تمديد كل من الورك
والركبة عند رفع الجسم إلى الدرجة الأعلى التالية.
التمديد الإضافى للمفصل بعد الوضع الصفرى يُسمى التمديد الم
فرط.[14] على سبيل المثال، إذا أمسكت يدك أمامك وكفها للأسفل،
ثم رفعت ظهر يدك كما لو كنت تعجب بخاتم جديد، فأنت تمدد الر
سغ بشكل مفرط. التمديد المفرط للطرف العلوى أو السفلى يعنى تحر
يك الطرف إلى وضع خلف المستوى الأمامى للجذع، كما لو كنت تص
ل بذراعك للحك على طهرك. كل حركة ارتداد للطرف السفلى عند الم
شى تمدد الورك بشكل مفرط.

الانثناء والتمديد يحدثان فى معظم المفاصل ذات الحركة الحرة)المفاصل
الزلالية(، لكن التمديد المفرط يقتصر على عدد قليل فقط. فى معظم هذه الم
فاصل، تمنع الأربطة أو تراكيب العظام التمديد المفرط.

[14] hyper = مفرط، يتجاوز الطبيعى





)ب(الإقتراب **)أ(الابتعاد**

الشكل 9.13 الابتعاد والإقتراب.
)أ(ابتعاد الأطراف.)ب(اقتراب الأطراف، إعادتها إلى
الوضع الصفرى.

أ–ب: تيموثى ل. فاكيولا/كين سالادين





)ب(الخفض **)أ(الرفع**

الشكل 9.14 الرفع والخفض.
)أ(رفع الكتفين.)ب(خفض الكتفين.

أ–ب: تيموثى ل. فاكيولا/كين سالادين



)أ(الإبراز الأمامى



)ب(السحب الخلفى

الشكل 9.15 الإبراز الأمامى و السحب الخلفى.)أ(إبراز الكتف كما فى دفع الباب لفتحه.
)ب(سحب الكتف للخلف.
أ–ب: تيموثى ل. فاكيولا/كين سالادين

جزء من الجسم فى نفس المستوى. على سبيل المثال، لرفع حقيبة م ن الأرض، ترفع لوح الكتف؛ وعند وضعها مرة أخرى، تخفض لوح الك تف. هذه أيضًا حركات مهمة للفك أثناء العص.

الإبراز والتراجع

الإبراز [17] الشكل 9.15)أ(هو الحركة الأمامية لجزء من الجسم فى الم ستوى العرضى)الأفقى(، و التراجع [18] الشكل 9.15ب(هو الحركة ال خلفية. على سبيل المثال، يبرز كتفك عندما تمتد أمامك لدفع باب م فتوح. ويتراجع عندما تعيده إلى وضع الراحة)الصفر(أو تسحب الكتف ين إلى الخلف للوقوف فى وضع الانتباه العسكرى. تشمل التمارين م ثل التجديف، وتمارين الضغط على المقعد، وتمارين الضغط على الأر ض تكرار الإبراز والتراجع للكتفين.

الحركة الدائرية

فى الحركة الدائرية [19] الشكل 9.16(، يبقى أحد طرفى الطرف ثابتًا إ لى حد ما بينما يقوم الطرف الآخر بحركة دائرية. إذا قام فنان واقف عن د الحامل بالرسم بالتمدد إلى الأمام ورسم دائرة على لوحة، فإنه يقوم بالحركة الدائرية للطرف العلوى؛ يبقى الكتف ثابتًا بينما تتحرك اليد ف ى دائرة. يقوم لاعب البيسبول عند الاستعداد للرمى بالحركة الدائرية للطرف العلوى بطريقة أكثر تطرفًا تشبه "المروحة". يمكن أيضًا تحريك إصبع واحد، أو اليد، أو الفخذ، أو القدم، أو الجذع، أو الرأس فى حركة د ائرية.



الشكل 9.16
الحركة الدائرية.
تيموثى إل. فاكيولا/كين سالادين

طبق ما تعرفه
اختر أى مثال على الحركة الدائرية وشرح لماذا هذه الحركة هى فى الواقع تسلسل من الانثناء، والابتعاد، والامتداد، والتقريب.

الدوران

الدوران)الشكل 9.17(هو حركة يدور فيها العظم حول محوره الطولى مثل عجلة الدراجة. على سبيل المثال، إذا وقفت ومرفقك مثنى وحر كت ساعدك لتلمس ذراعك المقابل، فإن عظم العضد يدور فى حركة تسمى الدوران الداخلى)الوسيط(. إذا قمت بالعكس، بحيث يشير ال ساعد بعيدًا عن جذعك، فإن عظم العضد يخضع لـ الدوران الخارجى)ا لجانبى(



)أ(الدوران الوسيط)الداخلى(

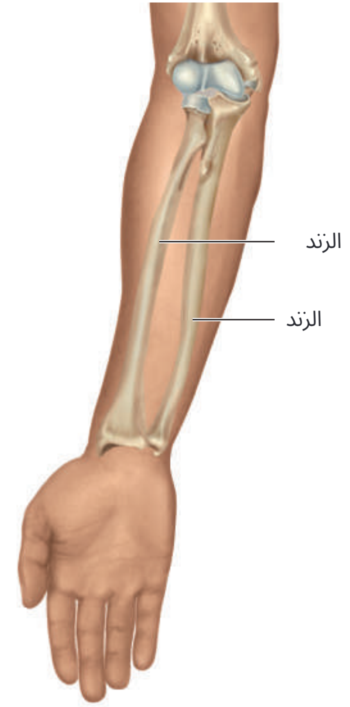


)ب(الدوران الجانبى)الخارجى(

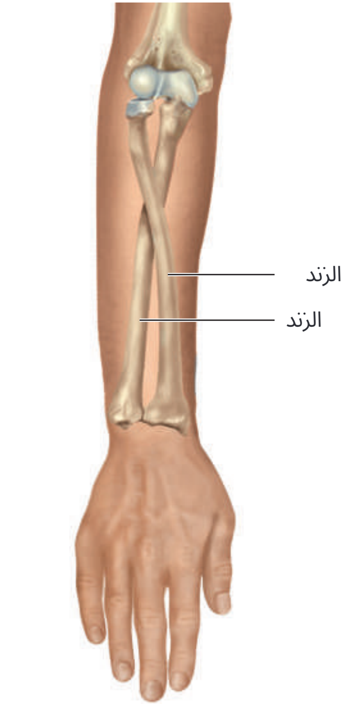
الشكل 9.17 الدوران الإنسى)الداخلى(والدوران الوحشى)الخارج ى(.)أ(الدوران الإنسى)الداخلى(لعظم العضد وعظم الفخذ.
)ب(الدوران الجانبى)الخارجى(لكليهما.
أ–ب: تيموثى ل. فاكيولا/كين سالادين

[17] *pro* = إلى الأمام؛ *trac* = للسحب أو الجذب
[18] *re* = إلى الخلف؛ *trac* = للسحب أو الجذب
[19] *circum* = حول؛ *duc* = للحمل أو القيادة

حركة مفصلية حقيقية، مع ذلك، لأنها لا تغير العلاقة بين أى عظام فى أى من المفاصل الزليلية.

)أ(الاستلقاء

)ب(التقليب

الشكل 9.18 الاستلقاء)Supination(والتقليب)Pronation(للساعد.
)أ(الاستلقاء.)ب(التقليب. لاحظ كيف تؤثر هذه الدورانات فى الساعد على العلاقة بين عظم الكعبرة)radius(وعظم الزند)ulna(. تتأثر أيضًا المواقع النسبية للعضلات، الأعصاب، والأوعية الدموية بشكل مماثل.
أ–ب: تيموثى ل. فاكيولا/كين سالادين

جيدة على الدوران الجانبى والوسيط لعظم العضد هى حركاته فى ضربات التر س الأمامية والخلفية. يمكن لعظم الفخذ أيضًا أن يدور. إذا وقفت وقمت بتح ريك قدمك اليمنى بحيث تشير أصابع قدميك نحو القدم اليسرى، ثم قمت بتحريكها بحيث تشير أصابع قدميك بعيدًا عن القدم اليسرى، فإن عظم الفخذ يخضع للدوران الوسيط والجانبى على التوالى. تُعطى أمثلة أخرى فى المناق شات القادمة حول حركات الساعد والرأس.

الاستلقاء والالتواء

الاستلقاء والالتواء معروفان أساسًا كحركات للساعد، ولكن انظر أيضًا ا لمناقشة اللاحقة لحركات القدم.
الاستلقاء[20] (SOO-pih-NAY-shun))الشكل 9.18أ(للساعد هو حر كة تدير راحة اليد لتواجه الأمام أو الأعلى؛ فى الوضع التشريحى، يكون الساعد مستلقيًا ويكون عظم الكعبرة موازيًا لعظم الزند. الالتواء[21])ال شكل 9.18ب(هو الحركة المعاكسة، التى تجعل راحة اليد تواجه الخ لف أو الأسفل، ويعبر عظم الكعبرة فوق عظم الزند مثل X. خلال هذه ا لحركات، يدور الطرف المقعر لرأس عظم الكعبرة القرصى الشكل على رأس عظم العضد، ويدور حافة القرص فى النتوء الشعاعى لعظم الزند. يظل عظم الزند ثابتًا نسبيًا.

كمساعدة لتذكر هذه المصطلحات، فكر فى الأمر بهذه الطريقة:
أنت *ميال* للوقوف فى الوضع الأكثر راحة، وهو
مع الساعد *ملتويًا*. ولكن إذا كنت تمسك وعاءً من *الحساء*
فى راحة يدك، فستحتاج إلى *استلقاء* الساعد لتجنب
انسكابه.
الفصل 10 يصف العضلات التى تقوم بهذه الحركات
)انظر الجدول 10.10(. من بينها، *العضلة المدوّرة للخارج)supinator(* هى الأقوى.
الاستلقاء)Supination(هو نوع الحركة التى تقوم بها عادة بيدك اليم نى لتدوير مقبض الباب باتجاه عقارب الساعة أو لدفع برغى فى قطعة من الخشب. تم تصميم خيوط البراغى والصواميل مع مراعاة القوة ا لنسبية للعضلة المدوّرة للخارج، لذلك يمكن تطبيق أقصى قوة عند ا ستخدام مفك البراغى باليد اليمنى.

سننظر الآن فى بعض مناطق الجسم التى تجمع الحركات السابق ة، أو التى لها حركات ومصطلحات فريدة.

الحركات الخاصة بالرأس والجذع

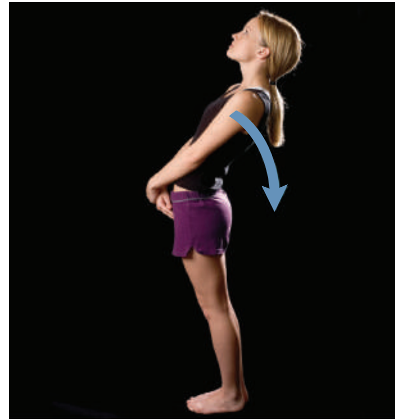
الثنى للعمود الفقرى ينتج حركات انحناء للأمام، كما فى إمالة الرأس ل لأمام أو الانحناء عند الخصر فى تمرين لمس الأصابع)الشكل 9.19أ(. التمديد للعمود الفقرى يقوم بتقويم الجذع أو الرقبة، كما فى الوقوف أ و إعادة الرأس إلى وضع النظر الأمامى الصفرى. التمديد المفرط يُس تخدم فى النظر إلى السماء أو الانحناء للخلف)الشكل 9.19ب(. الانح ناء الجانبى هو إمالة الرأس أو الجذع إلى اليمين أو اليسار من الخط الو سيط)الشكل 9.19ح(.

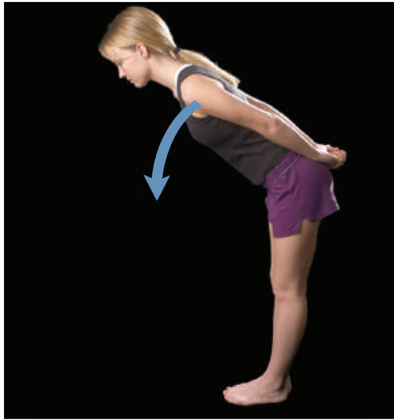
الالتواء عند الخصر أو دوران الرأس يُسمى الدوران إلى اليمين أو الدوران إلى اليسار عندما يدور الصدر أو الوجه إلى اليمين أو اليسار م ن الوضع الصفرى المواجه للأمام)الشكل 9.19د، هـ(. الدوران القوى إ لى اليمين واليسار عند الخصر مهم فى رمى البيسبول، golf، رمى ال قرص، وغيرها من الرياضات. الدوران عند الخصر ليس

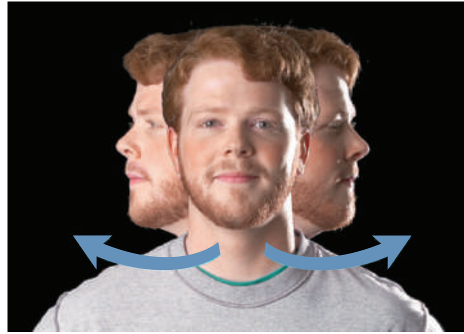
---

[20] ثنى = الاستلقاء للخلف
[21] ثنى = الانحناء للأمام


)ج(الانحناء الجانبي


)ب(فرط الامتداد


)أ(الانثناء


)هـ(الدوران


)د(الدوران إلى اليمين

الشكل 9.19 حركات الرأس والجذع.)أ(الانحناء الأمامي للعمود الفقري. (
ب(فرط الامتداد للعمود الفقري.)ج(الانحناء الجانبي للعمود الفقري.)د
) الدوران إلى اليمين عند الخصر.)هـ(الدوران إلى اليمين واليسار للرأس.

في دوران الرأس)هـ(، أي عظم يدور حول محوره؟

أ–هـ: تيموثي ل. فاكيولا/كين سالادين

يميل اليد نحو الإصبع الصغير، و الانثناء الكعبري يميلها
نحو الإبهام)الشكل 9.21أ، ب(. نستخدم غالبًا مثل هذه الحركات عند
التلويح باليد مرحبًا لشخص ما بحركة جانبية لليد، أو
عند غسل النوافذ، تلميع الأثاث، أو استخدام لوحة المفاتيح.
حركات الأصابع أكثر تنوعًا، خاصة حركة الإبهام. *الانثناء* للأصابع ه
و لفها؛ *الامتداد* هو فردها. معظم الناس لا يستطيعون تمديد أصابعه
م بشكل مفرط.
تباعد الأصابع هو *الاختطاف*)الشكل 9.21ج(، وإعادتها معًا بحيث تلمس
حوافها هو *التقريب*

)كما في الشكل 9.21أ، ب(.
الإبهام مختلف، مع ذلك، لأنه في التطور الجنيني يدور بحوالي 90
° عن بقية اليد. إذا أمسكت يدك في وضع مسترخٍ تمامًا)ولكن لي
س مستندًا على طاولة(، فربما ترى أن المستوى الذي يحتوي على الإ
بهام والسبابة يكون بزاوية حوالي 90° بالنسبة للمستوى الذي يحتوي
على السبابة حتى الخنصر. لذلك، تختلف معظم مصطلحات حركة الإ
بهام عن تلك الخاصة بالأصابع الأربعة الأخرى.

ثني الإبهام هو ثني المفاصل بحيث يتجه طرف الإبهام
نحو راحة اليد، و *التمديد* هو فرده. إذا وضعت
راحة يدك الآن على طاولة مع وجود الأصابع الخمسة
متوازية ومتلامسة، يكون الإبهام ممدودًا. مع إبقاء يدك
في ذلك الوضع، إذا حركت إبهامك بعيدًا عن السبابة بحيث يكونا

الحركات الخاصة للفك السفلي

تتعلق حركات الفك السفلي بشكل خاص بالعض والتمضغ. تخيل أنك
تأخذ قضمة من جزرة نيئة. معظم الناس لديهم درجة من بروز الأسنان ا
لعلوية؛ في حالة الراحة، تتدلى القواطع العلوية)الأسنان الأمامية(فوق ا
لقواطع السفلية. ومع ذلك، من أجل عض فعال، يجب أن تلتقي الحوا
ف الشبيهة بالإزميل للقواطع. لذلك، في التحضير للعض، نقوم *بإبعاد* ا
لفك السفلي إلى الأمام لجلب القواطع السفلية إلى الأمام.
بعد أخذ القضمة، نقوم *بسحبها*)الشكل 9.20أ، ب(. لأخذ القضمة
فعليًا، يجب أن *نخفض* الفك السفلي لفتح الفم، ثم نرفعه حتى تقطع
القواطع قطعة الطعام.
بعد ذلك، لمضغ الطعام، لا نقوم ببساطة برفع وخفض الفك الس
فلي كما لو كنا نطرق الطعام بين الأسنان؛ بل نمارس حركة طحن تمز
ق الطعام بين الأسطح العريضة والمحدبة للأضراس والأضراس الصغ
يرة. وهذا يتطلب حركة جانبية للفك السفلي تُسمى الحركة الجانبية)ا
لحركة إلى اليسار أو اليمين من الموضع الصفري(و الحركة الوسطية)ا
لعودة إلى الموضع الوسيط الصفري( )الشكل 9.20ج، د(.

الحركات الخاصة باليد والأصابع

تتحرك اليد إلى الأمام والخلف عن طريق ثني وتمديد المعصم.
يمكنها أيضًا التحرك في المستوى الأمامي.ثني الزند

عندما يشكلان زاوية 90°)لكن كلاهما على مستوى الطاولة(، يُسمى حركة الإبهام الابتعاد الشعاعى)كما فى الشكل 9.21ح(. حركة أخرى، الابتعاد الراحى تحرك الإبهام بعيدًا عن مستوى اليد ليشير إلى الأمام، كما تفعل إذا كنت على وشك لف يدك حول مقبض أداة)الشكل 9.21د(.
من أى من الوضعيتين—الابتعاد الشعاعى أو الابتعاد الراحى— *التقرب* للإبهام يعنى إعادته إلى وضع الصفر، ملامسًا قاعدة الإصبع السبابة.
مصطلحان فريدان للإبهام: المعارضة[22] تعنى تحريك الإبهام ليقترب أو يلمس طرف أى من الأصابع الأربعة الأخرى)الشكل 9.21هـ(. إعادة الوضع[23] هى العودة إلى وضع الصفر.

حركات خاصة بالقدم

هناك بعض المصطلحات الحركية الإضافية الفريدة للقدم.
الانثناء الظهرى هو حركة يتم فيها رفع أصابع القدم، كما قد تفعل عند تقليم أظافر القدم)الشكل 9.22أ(. فى كل خطوة تخطوها، تقوم القدم بالانثناء الظهرى أثناء تقدمها إلى الأمام. هذا يمنعك من خدش أصابع قدميك بالأرض وينتج عنه الضربة المميزة بالكعب فى حركة المشى البشرية عندما تلامس القدم الأرض أمامك. الانثناء الأخمصى هو حركة القدم بحيث تشير الأصابع إلى الأسفل، كما فى الضغط على دواسة البنزين فى السيارة أو الوقوف على أطراف الأصابع. هذه الحركة تتيح أيضًا *الدفع بالأصابع* فى كل خطوة تخطوها، حيث يرتفع كعب القدم خلفك عن الأرض. يمكن أن يكون الانثناء الأخمصى حركة قوية جدًا، كما يتجلى فى قافزى الوثب العالى وتسديدات القفز فى كرة السلة.

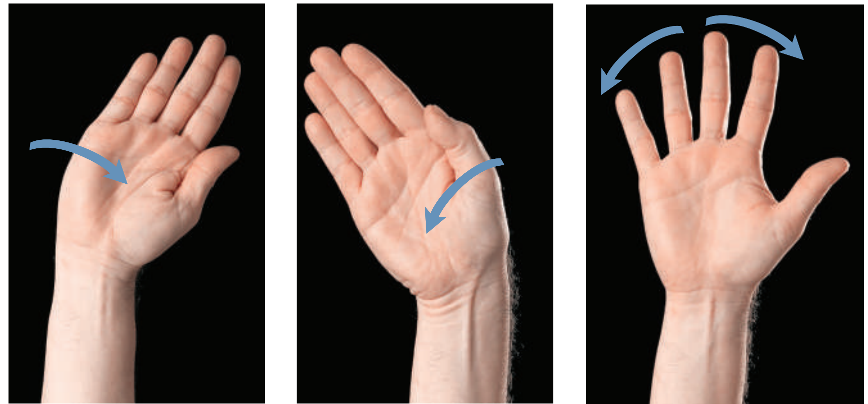
[22] op= ضد؛ posit= وضع
[23] re= خلف؛ posit= وضع

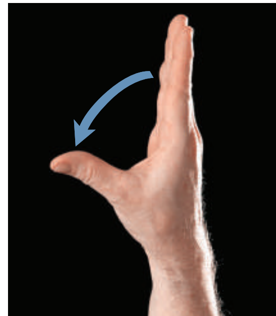

)أ(الإبراز الأمامى
)ب(السحب الخلفى


)ح(الحركة الجانبية
)د(الحركة الوسطية

الشكل 9.20 حركات الفك السفلى.)أ(التقدم و)ب(التراجع.)ح(الحركة الجانبية و)د(الحركة الوسطية، كما فى مضغ الطعام.

أ–د: تيموثى إل. فاكيولا/كين سالادين


)أ(الانثناء الكعبرى
)ب(الانثناء الزندى
)ح(إبعاد الأصابع


)د(الاختطاف الراحى للإبهام


)هـ(معارضة الإبهام

الشكل 9.21 حركات اليد والأصابع.
)أ(انثناء الرسغ نحو العظم الكعبرى)الراديال(.)ب(انثناء الرسغ نحو العظم الزندى.)ح(إبعاد الأصابع. وضع الإبهام فى هذا الشكل يُسمى الإبعاد الراديالى. الجزآن)أ(و)ب(يظهران تقرب الأصابع.)د(إبعاد الإبهام نحو راحة اليد.)هـ(معارضة الإبهام؛ إعادة الوضع موضحة فى الجزأين)أ(و)ب(.

أ–هـ: تيموثى ل. فاكيولا/كين سالادين



)أ(ثنى الكاحل


)ب(الإمالة الداخلية


)ج(الإمالة الخارجية

الشكل 9.22 حركات القدم.)أ(ثنى القدم لأسفل)ثنى أخمصى(وثنى ا
لقدم لأعلى)ثنى ظنبوبى(عند الكاحل.)ب(انقلاب القدمين إلى الداخل.)
ج(انقلاب القدمين إلى الخارج.

a–c: تيموثى إل. فاكيولا/كين سالادين

8. قدم مثالاً تشريحياً لكل فئة من الروافع واشرح لماذا ينتمى كل م
ثال إلى تلك الفئة.

9. قدم مثالاً لكل من الفئات الست للمفاصل الزليلية واذكر عدد محاور
الدوران التى يمتلكها كل مثال.

10. افترض أنك تصل إلى الأعلى وتقوم بتركيب لمبة فى
حامل السقف. سمِّ كل مفصل سيكون مشتركًا فى ذلك
والحركات المفصلية التى ستحدث.

11. أين تقع القوة، ونقطة الارتكاز، والمقاومة فى حركة الانثناء الظهرى
؟ ما هو نوع الرافعة التى يمثلها القدم أثناء الانثناء الظهرى؟ هل ت
توقع أن يكون لها ميزة ميكانيكية أكبر أم أقل من 1.0؟ ولماذا؟

تشريح المفاصل المختارة)المفاصل الزلالية(9.3

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. تحديد السمات التشريحية الرئيسية لمفاصل الفك، وال
كتف، والكوع، والورك، والركبة، والكاحل؛ و

ب. شرح كيف ترتبط الاختلافات التشريحية بين هذه المفاصل بالا
ختلافات فى الوظيفة.

نحن الآن نفحص التشريح العام لبعض المفاصل الزلالية)المتحركة(. م
ن خارج نطاق هذا الكتاب مناقشة جميعها، لكن المفاصل المختارة ه
نا غالبًا ما تتطلب اهتمامًا طبيًا والعديد منها له تأثير قوى على الأداء ا
لرياضى والتنقل اليومى.

9.3أ مفصل الفك

مفصل الصدغى الفكى)TMJ(هو التقاء رأس الفك السفلى مع الحفرة
الفكية للعظم الصدغى)الشكل 9.23(. يمكنك أن تشعر بحركته بالض
غط بأطراف أصابعك على الفك أمام الأذن مباشرة أثناء فتح وإغلاق
فمك.

تنقسم التجويف الزلالى لمفصل الفك إلى حجرات علوية وسفلية
بواسطة قرص مفصلى، مما يسمح بالحركة الجانبية و

الانقلاب[24] هو حركة للقدم تميل بها أخمص القدمين نحو الداخل، بح
يث تواجهان بعضهما البعض إلى حد ما، والانقلاب الخارجى[25] هو حركة تم
يل بها الأخمص نحو الخارج، بعيدًا عن بعضهما البعض)الشكل 9.22ب،
ج(. هذه الحركات مهمة عند المشى على أسطح غير مستوية مثل المسارا
ت الصخرية. وهى شائعة فى الرياضات السريعة مثل التنس وكرة القدم، و
أحيانًا تسبب التواءات فى الكاحل. كما تشير هذه المصطلحات إلى تشوها
ت خلقية فى القدمين، والتى غالبًا ما يتم تصحيحها بواسطة الأحذية أو الد
عامات التقويمية.

الاستلقاء و *الاستلقاء العكسى*، اللذان يشيران بشكل رئيسى إلى
حركات الساعد، ينطبقان أيضًا على القدمين لكن هنا يشيران إلى مزى
ج أكثر تعقيدًا من الحركات. استلقاء القدم هو مزيج من الانثناء الظهر
ى، والانقلاب الخارجى، والإبعاد—أى أن الأصابع مرتفعة وموجهة بعيدً
ا عن القدم الأخرى ومائل الأخمص بعيدًا عنها. الاستلقاء العكسى للقد
م هو مزيج من الانثناء الأخمصى، والانقلاب الداخلى، والتقريب—أى أ
ن الأصابع منخفضة وموجهة نحو القدم الأخرى ومائل الأخمص نحوها.

قد تبدو هذه الحركات صعبة بعض الشيء للتصور والأداء الواعى، لكنه
ا حركات شائعة فى المشى، والجرى، والباليه، وعبور الأسطح غير الم
ستوية.

ربما يمكنك أن تفهم لماذا تنطبق هذه المصطلحات على القدمين إ
ذا وضعت راحتى يديك على طاولة وتظاهرت بأنهما هما باطن قدميك.
قم بإمالة يديك بحيث يرتفع الحافة الداخلية)جانب الإبهام(لكل منهما
عن الطاولة. هذا يشبه رفع الحافة الوسطى لقدمك عن الأرض، وكما تر
ى، فإنه ينطوى على دوران بسيط للساعدين إلى الخارج)supination(.
عند وضع يديك وراحتيهما لأسفل على الطاولة، يكون ساعداك بالفعل
فى وضعية دوران إلى الداخل)pronation(؛ ولكن إذا رفعت الحواف ا
لخارجية ليديك)جانب الإصبع الصغير(، كما فى دوران القدمين إلى الدا
خل، سترى أن ذلك ينطوى على استمرار حركة دوران الساعد إلى الداخل
.

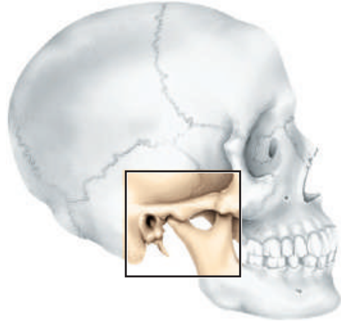
قبل أن تتابع

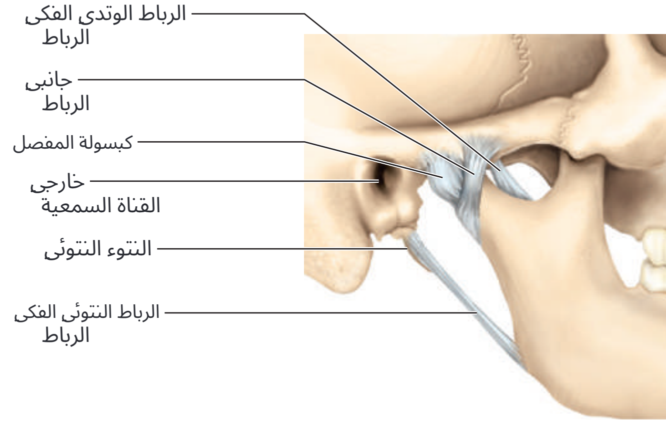
أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

7. صف أدوار الغضروف المفصلى والسائل الزليلى فى حركة المفص
ل.

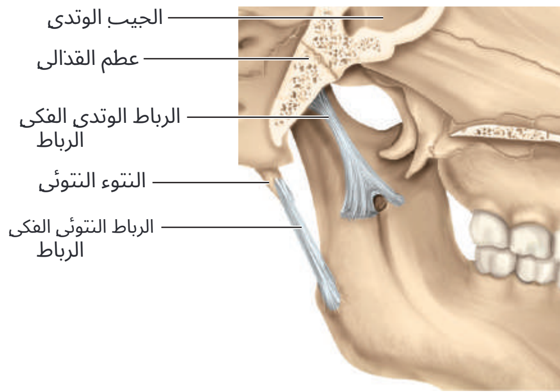
[24] *in* = إلى الداخل؛ *version* = دوران

[25] *e* = إلى الخارج؛ *version* = دوران

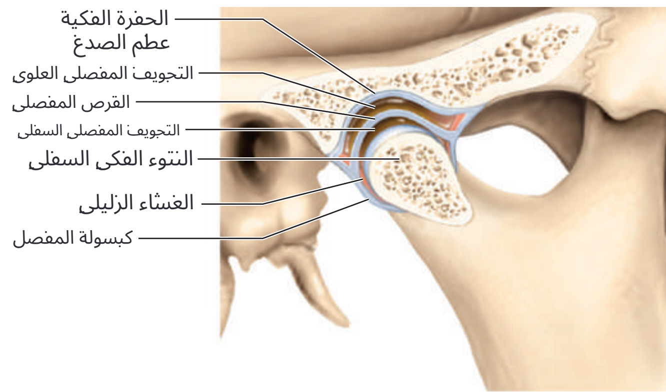




)أ(منظر جانبى



)ب(منظر وسطى



)ح(مقطع سهمى

الشكل 9.23 المفصل الصدغى الفكى)مفصل الفك(.)أ(منظر جانبى.)ب(منظر وسطى للجمجمة مقطوعة إلى نصفين.)ح(مقطع سهمى للمفصل. APR

يمتد الجانب الإنسى للمفصل من عظم الوتدى إلى الذراع للفك السفلى. يمتد *الرباط النتوئى الفكّى* من النتوء النتوئى إلى زاوية الفك السفلى لكنه ليس جزءًا من مفصل الفك الصدغى نفسه.

يمكن أن يؤدى تثاؤب عميق أو انقباض شديد للفك السفلى إلى خلع مفصل الفك الصدغى عن طريق دفع اللقمة للخروج من الحفرة والانزلاق إلى الأمام. يتم إعادة المفصل إلى مكانه بالضغط على الأضراس أثناء دفع الفك إلى الخلف.

9.3ب مفصل الكتف

مفصل الكتف الحقانى العضدى)الهيمسفيرال(، أو مفصل الكتف، هو المكان الذى يتصل فيه رأس العضد نصف الكروى مع التجويف الحقانى للكتف)الشكل 9.24(. معًا، يخدم مفصلا الكتف والكوع وضع اليد لأداء مهمة ما؛ بدون اليد، تكون حركات الكتف والكوع عديمة الفائدة تقريبًا. كبسولة مفصل الكتف الفضفاضة نسبيًا والتجويف الحقانى السطحى تضحّى بثبات المفصل مقابل حرية الحركة)انظر التعمق 9.3(. ومع ذلك، يحتوى التجويف على حلقة من الغضروف الليفى تسمى الشفة الحقانية[26] حول حافته، مما يجعله أعمق قليلاً مما يبدو على الهيكل العظمى المجفف.

الحركة الوسطية للفك السفلى. يدعم المفصل رباطان. الرباط الجانبى يمنع الإزاحة الخلفية للفك السفلى. إذا تلقى الفك ضربة قوية، فإن هذا الرباط عادةً ما يمنع دفع النتوء الكونديلى للأعلى وتكسر قاعدة الجمجمة. الرباط الوتدى الفكى على



نظرة أعمق 9.2

التطبيق السريرى

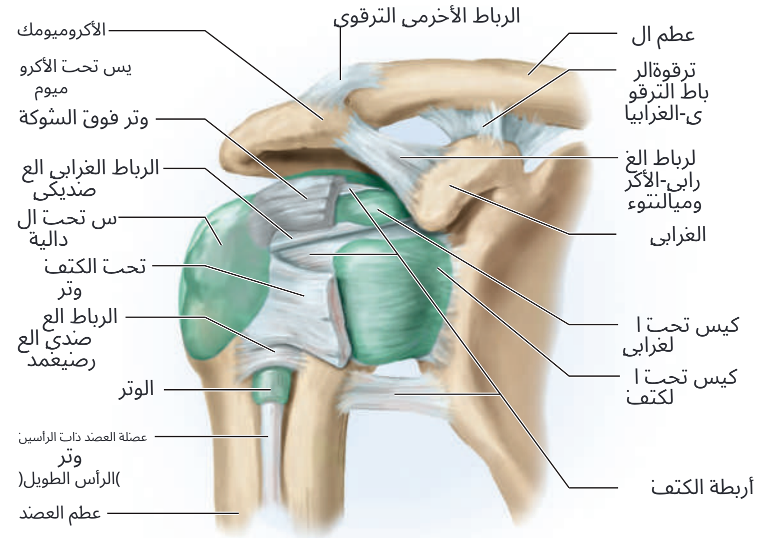
خلل فى مفصل الفك الصدغى)TMJ(

خلل مفصل الفك الصدغى)TMD(يصيب 20% إلى 30% من السكان البالغين فى جميع أنحاء العالم، ويحتل المرتبة الثانية بعد ألم الأسنان كأحد أكثر أسباب الألم الفموى الوجهى شيوعًا. يبدو أنه مجموعة من الاضطرابات التى تشمل أعراضها الطقطقة، والفرقعة، أو الأصوات الخشنة؛ وحركات الفك المقيدة التى قد تسبب مشاكل فى الأكل أو التحدث؛ وألمًا نابضًا فى مفصل الفك الصدغى والعضلات المرتبطة بالمضغ يزداد عند المضغ والتثاؤب. أسباب خلل مفصل الفك الصدغى غير مفهومة جيدًا لدرجة أنه لا يوجد اتفاق على أفضل علاج، وهناك بالفعل أكثر من اثنى عشر اسمًا مختلفًا له. يمكن أن تكون أدوية الألم)مسكنات الألم(مفيدة. نظرًا لأن خلل مفصل الفك الصدغى غالبًا ما يرتبط بالقلق أو الاكتئاب أو التوتر، فإن بعض المرضى والأطباء يذكرون نجاحًا مع العلاجات السلوكية المتنوعة مثل التأمل، والتغذية الراجعة البيولوجية، واليوغا.

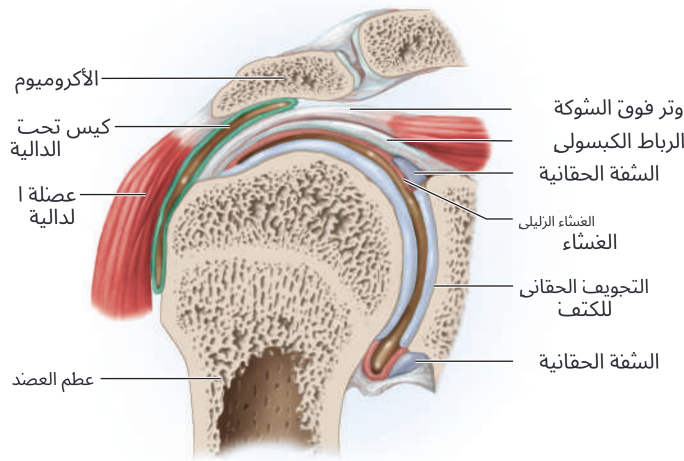
[26] *glen* = التجويف؛ *oid* = يشبه؛ *labrum* = الشفة



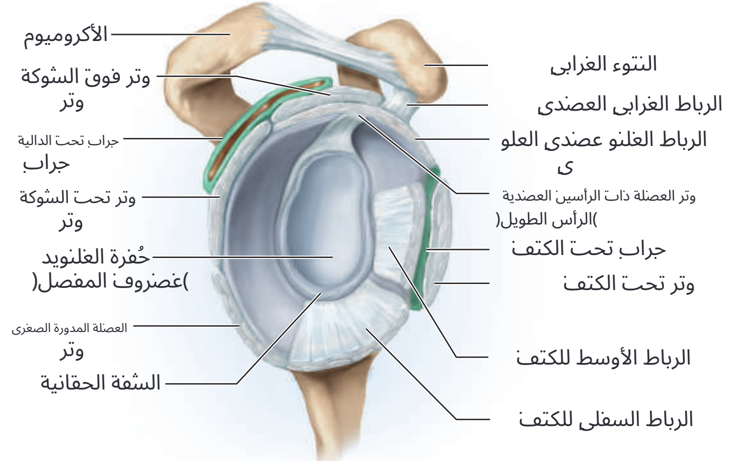
)أ(التشريح الأمامي



)ب(منظر أمامى



)ح(مقطع أمامى



)د(منظر جانبى، بعد إزالة عظم العضد

الشكل 9.24 مفصل الكتف)مفصل العضد(.)أ(منظر أمامى لكتف جثة مفتوحة.)ب(منظر أمامى لأربطة الكتف والأكياس الزلالية.)ح(مقطع أمامى، يُظهر تجويف المفصل.)د(منظر جانبى لتجويف الكتف)تجويف الغلنويد لعظم الكتف(مع إزالة عظم العضد.



أ: ريبيكا غراى/ماكجرو هيل

نظرة أعمق 9.3

التطبيق السريرى

خلع الكتف

تشريح وحركة مفصل الكتف تجعله عرضة بشكل خاص للخلع. أكثر من 95% من ا لحالات تُصنف كخلع أمامى)انزياح رأس العضد فى الاتجاه الأمامى(.

عادةً ما تحدث هذه الخلوع عندما يكون الذراع مرفوعًا ويتلقى ضربة من الأعلى — على سبيل المثال، من سقوط أشياء ثقيلة من رف. يمر عبر منطقة الإبط مجموعة من الأعصاب والأوعية الدموية، ويمكن لخلع الكتف أن يسبب بسهولة تلف الع صب الإبطى أو الشريان الإبطى.

)انظر الأشكال 13.17 و20.39(. إذا تُرك دون علاج، قد يؤدى ذلك إلى ضمور الع ضلات، وضعف، أو شلل. علّم الطبيب اليونانى أبقراط الطلاب علاج خلع الكتف بوضع كعب القدم فى إبط المريض وسحب الذراع، لكن هذا قد يسبب تلفًا أعصا بًا أسوأ ولا يُمارس بعد الآن من قبل المحترفين. وبما أن الكتف سهل الخلع، فلا ى نبغى أبدًا محاولة تحريك شخص فاقد الوعى أو مشلول بسحب ذراعه.

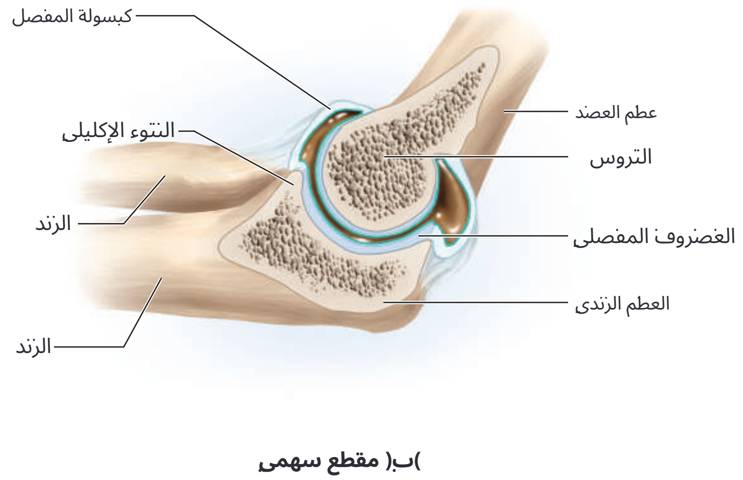
يمتد من الحدبة الكبرى إلى الحدبة الصغرى لعطم العضد ويشكل نفقًا يحتوى على وتر الرأس الطويل لعضلة العضد ذات الرأسين. توجد أربع أكياس زلالية)بورسات(فى الكتف. تسمياتهم تعبر عن مواقعهم: تحت الدالية، تحت الأخرم، تحت الناتئ الغرابى، وتحت ال كتف. الدالية هى العضلة الكبيرة التى تغطى الكتف، والأكياس الزلالية الأخرى مسماة حسب أجزاء الكتف الموضحة فى الفصل 8.

9.3ح مفصل الكوع

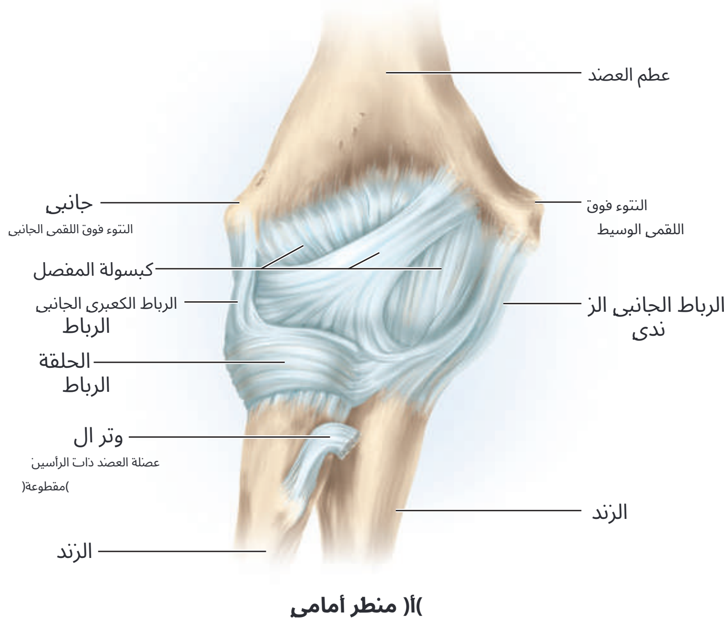
الكوع هو مفصل مفصلى يتكون من مفصلين: مفصل العضد-الزند ح يث تلتقى التروكليا لعطم العضد مع النتوء التروكلى للزند، ومفصل ال عضد-الكعبرة حيث يلتقى الرأس الكعبرة مع رأس الكعبرة)الشكل 9. 25(. كلاهما محاط بكبسولة مفصل واحدة. على الجانب الخلفى للكوع ،

يتم تثبيت الكتف بشكل رئيسى بواسطة عضلة العضد ذات الرأسين)ع ضلة البايسبس(على الجانب الأمامى من الذراع. ينشأ أحد أوتارها من الرأس الطويل للعضلة، ويمر عبر الأخدود بين الحدبتين لعطم العضد، وينغرس على الحافة العلوية لتجويف الجلينويد. يعمل هذا الوتر كحزام مشدود يضغط رأ س العضد ضد تجويف الجلينويد. تساعد أربع عضلات إضافية فى تثبيت هذ ه المفصل: فوق الشوكة)السوبراسبيناتوس(، تحت الشوكة)الإينفراسبيناتو س(، الصغرى المدورة)تيريس مينور(، وتحت الكتف)سابسكابولاريس(. ت شكل أوتارها الكفة المدورة، التى تندمج مع كبسولة المفصل من جميع الجها ت ما عدا الجهة السفلية)انظر الشكل 10.24(. يصف الفصل 10 الكفة المد ورة وإصاباتها بشكل مفصل.

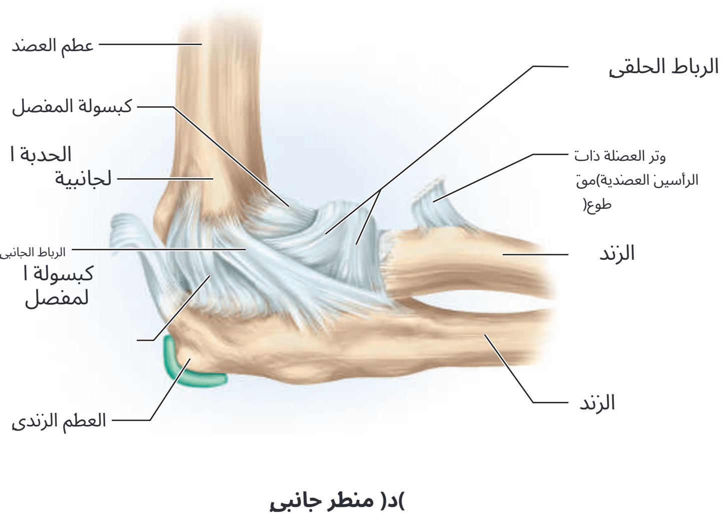
تدعم خمسة أربطة رئيسية هذا المفصل أيضًا. ثلاثة منها، تسمى أربطة الجلينوهوميرال، تكون ضعيفة نسبيًا وأحيانًا غائبة. أما الربطان ا لآخران فهما الرباط الكوراكوهوميرال، الذى يمتد من الناتئ الغرابى لل كتف إلى الحدبة الكبرى لعطم العضد، والرباط العرضى للعضد، الذى



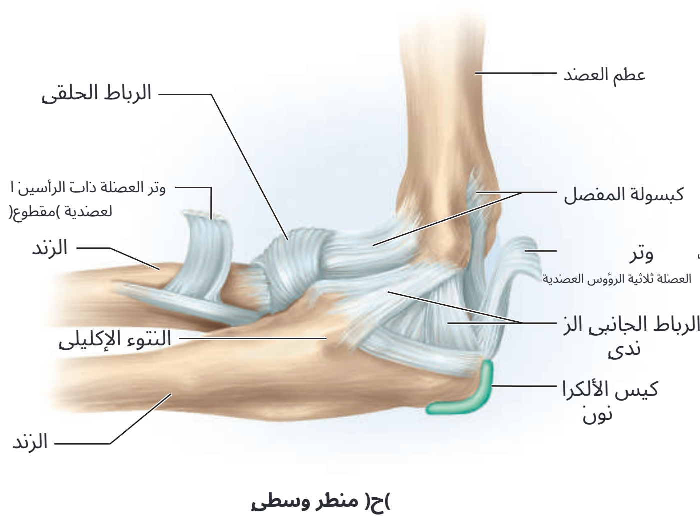
)ب(مقطع سهمى



)أ(منظر أمامى



)د(منظر جانبى



)ح(منظر وسطى

الشكل 9.25 مفصل الكوع. تشمل هذه المنطقة مفصلين يشكلان مفصل الكوع المفصلى—مفصل العضد الزندى ومفصل العضد الكعبى—ومفصل واحد ، وهو المفصل الكعبى الزندى، غير مشارك فى المفصل المفصلى.)أ(أربطة الكوع الأمامية.)ب(مقطع سهمى، يُظهر تجويف المفصل.)ح(أربطة الكوع الو سطى.)د(أربطة الكوع الجانبية. APR

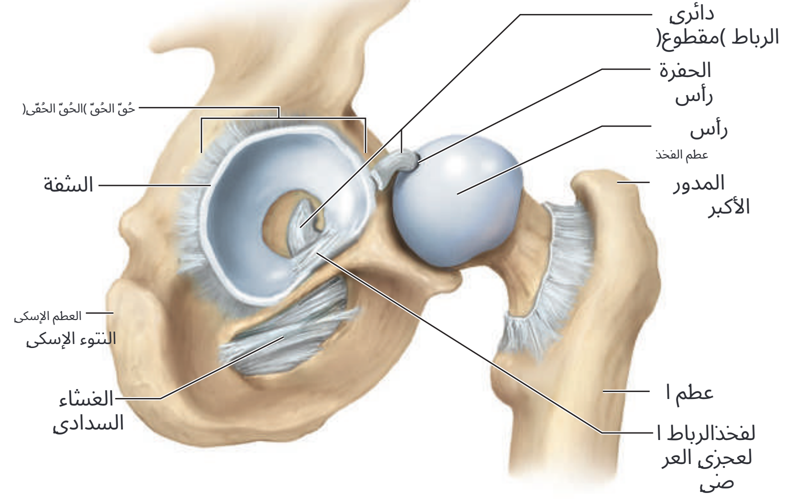
وهو متصل فى كل طرف بالعطم الزندى. يدور رأس العطم الكعبى مثل عجلة مقابل العطم الزندى عندما يتم تدوير الساعد إلى وضعية الاستلقاء أو الاستلقاء المعاكس.

9.3د مفصل الورك

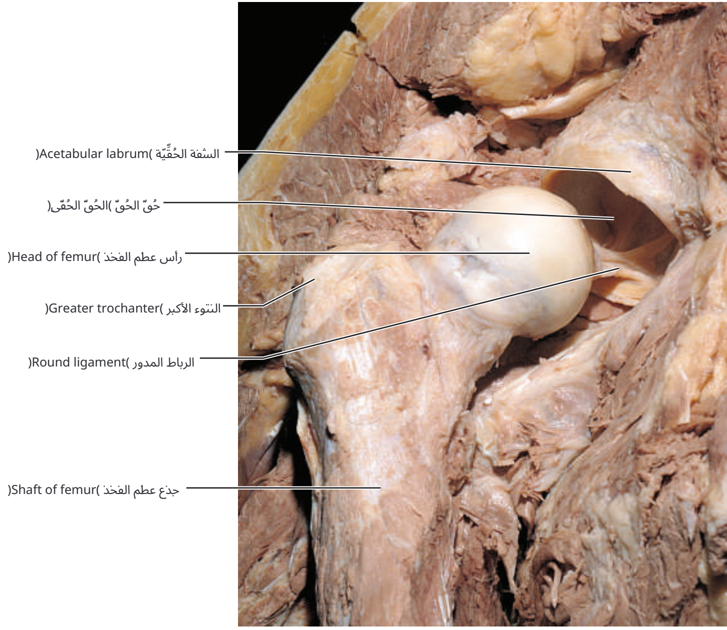
مفصل الحوض)الورك(هو النقطة التى يدخل فيها رأس عطم الفخذ فى تجويف الحُق)الحق(لعطم الحوض)الشكل 9.26(. نطرًا لأن مفاصل الحوض تتحمل معطم وزن الجسم، فإن لها تجاويف عميقة

هناك كيس بارز الكيس الزندى الذى يُسهّل حركة الأوتار فوق المفصل. الحركات الجانبية لمفصل الكوع مقيدة بواسطة زوج من الأربطة: الرباط الجانبى الكعبى)الطرفى(والرباط الجانبى الزندى)الوسطى(.

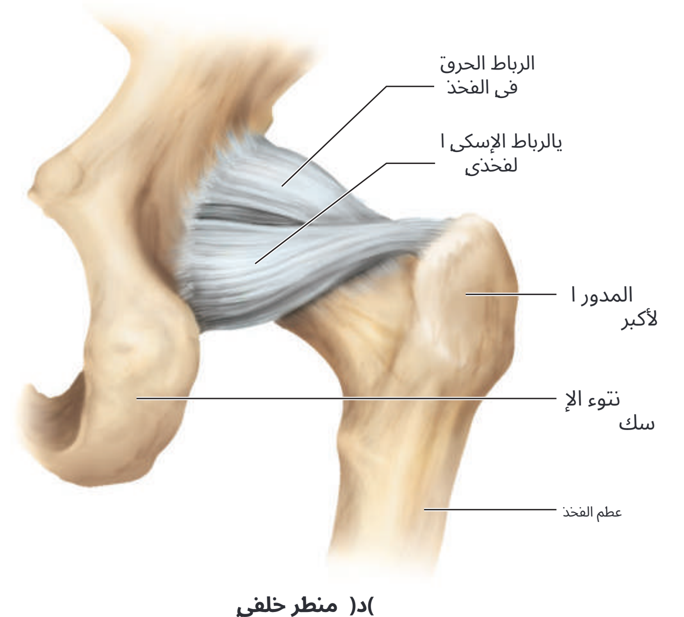
يوجد مفصل آخر فى منطقة الكوع، وهو المفصل الكعبى الزندى القريب، لكنه غير مشارك فى المفصل المفصلى. فى هذا المفصل، حافة رأس العطم الكعبى القرصى الشكل تتناسب مع الشق الكعبى فى العطم الزندى. ويتم تثبيته فى مكانه بواسطة الرباط الحلقى الذى يحيط برأس العطم الكعبى



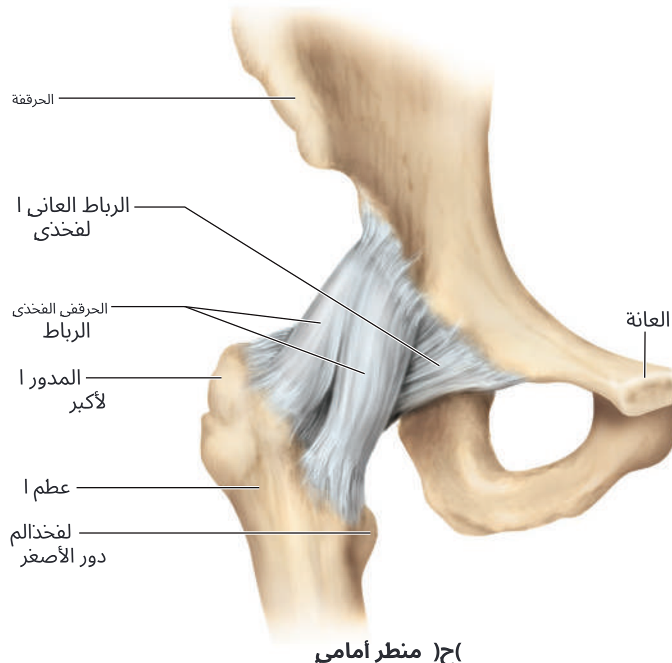
)ب(منظر جانبى، عطم الفخذ مسحوب للخلف



)أ(التشريح الأمامى)Anterior dissection(



)د(منظر خلفى



)ح(منظر أمامى

الشكل 9.26 مفصل الورك)Coxal Joint(.)أ(منظر أمامى للورك المقطوع لجثة.)ب(منظر جانبى لمفصل الورك مع سحب عطم الفخذ من الحُقّ)acetabulum(.)ح(أربطة الورك الأمامية.)د(أربطة الورك الخلفية.

)Rebecca Gray/McGraw Hill(ربيكا غراي / ماكجرو هيل

وهى أكثر استقرارًا بكثير من مفصل الكتف. عمق
التجويف أكبر قليلاً مما تراه على العظام الجافة بسبب
حلقة على شكل حدوة حصان من الغضروف الليفى، وهى الشفة الحُقِّيّة)acetabular labrum(،
المتصلة بحافتها. لذلك فإن خلع مفصل الورك نادر الحدوث.

طبق ما تعرفه
أين يوجد فى الجسم هيكل مشابه للحافة الحُقِّيّة)acetabular l
abrum(؟ ما الذى يشترك فيه هذان الموقعان؟

الأربطة التى تدعم مفصل الورك تشمل أربطة الإيليوفيمورال)ili
ofemoral(والبوبوفيمورال)pubofemoral(على الجانب
الأمامى، ورباط الإسكيوفيمورال)ischiofemoral(على الجانب الخل
فى.
يشير اسم كل رباط إلى العظام التى يرتبط بها — عظم الفخذ)الفيمور(
وعظم الحرقفة)الإيليوم(، العانة)البوبس(، أو العجز)الإسكيم(. عند الو
قوف، تلتف هذه الأربطة وتسحب رأس عظم الفخذ بإحكام داخل التج
ويف الحقوى)الاستابولوم(. يحتوى رأس عظم الفخذ على حفرة بارزة
تسمى الحفرة الرأسية)fovea capitis(. ينشأ من هنا الرباط المدور أو
الرباط المستدير)ligamentum teres(ويرتبط بالحافة السفلية لل
تجويف الحقوى. هذا الرباط مرن نسبياً، لذا من المشكوك فيه أن يلع
ب دوراً كبيراً فى تثبيت عظم الفخذ فى محفظته. ومع ذلك، يحتوى ع
لى شريان يزود رأس عظم الفخذ بالدم. يربط رباط استابولار عرضى)tr
ansverse acetabular ligament(الفجوة فى الحافة الس
فلية لحافة الاستابولوم.

9.3e مفصل الركبة

مفصل الطنبوب الفخذى)مفصل الركبة(هو أكبر وأعقد مفصل ديار
ثروسى فى الجسم)الشكلان 9.27 و9.28(. هو فى الأساس مفصل م
فصلى)مفصل مفصل(، ولكن عندما تنثنى الركبة، يكون قادراً أيضاً ع
لى دوران طفيف وانزلاق جانبى. كما تتصل الرضفة ورباط الرضفة بع
ظم الفخذ لتشكيل مفصل رضفى فخذى منزلق.
تغلف كبسولة المفصل الجوانب الجانبية والخلفية لمفصل الرك
بة فقط، وليس الجانب الأمامى. الجانب الأمامى مغطى بالرضفة، ور
باط الرضفة، والرتيناكولات الجانبية والوسطى للرضفة)غير موضحة(.
الرتيناكولات هى امتدادات لوتر عضلة رباعية الرؤوس الفخذية، العض
لة الأمامية الكبيرة فى الفخذ. تستقر الركبة بشكل رئيسى بواسطة وتر
رباعية الرؤوس فى الأمام ووتر عضلة نصف الغشائية فى الجزء الخلف
ى من الفخذ. لذلك، فإن تقوية هذه العضلات يقلل من خطر إصابة الر
كبة.

تحتوى تجويف المفصل على غضاريف على شكل حرف C تسمى
الغضاريف الهلالية الجانبية والوسطى)مفردها، الغضروف الهلالى(مر
تبطة بواسطة رباط عرضى. تمتص هذه الغضاريف صدمة وزن الجسم
الذى يتحرك صعوداً وهبوطاً على الركبة وتمنع عظم الفخذ من التأرج
ح من جانب إلى آخر على عظم الطنبوب.
المنطقة الخلفية للركبة)منطقة خلف الركبة(مدعومة بمجموعة معقدة من ا
لأربطة خارج الكبسولة المفصلية)extracapsular ligaments(الموجودة خارج
كبسولة المفصل، ورباطين داخل الكبسولة)intracapsular ligaments(داخلها.
تشمل الأربطة خارج الكبسولة رباطين جانبيين يمنعان دوران الركبة ع
ندما يكون المفصل ممدوداً — رباط الكاحل الجانبى)fibular collat
eral ligament(ورباط الطنبوب الجانبى)tibial collater
al ligament(— وأربطة أخرى غير موضحة.

الوسيط ← | → جانبى

عظم الفخذ:
الجذع
سطح الرضفة
الحدبة الإنسية
الحدبة الوحشية
كبسولة المفصل
تجويف المفصل:
الرباط الصليبى الأ
مامى
الهلالة الإنسية
الهلالة الوحشية
عظم الطنبوب:
الحدبة الوحشية
الحدبة الإنسية
النتوء
الرباط الرضفى
الرضفة
)السطح الخلفى(الأس
طح المفصليةوتر ا
لعضلة الرباعى
ة الرؤوس)معكوس(

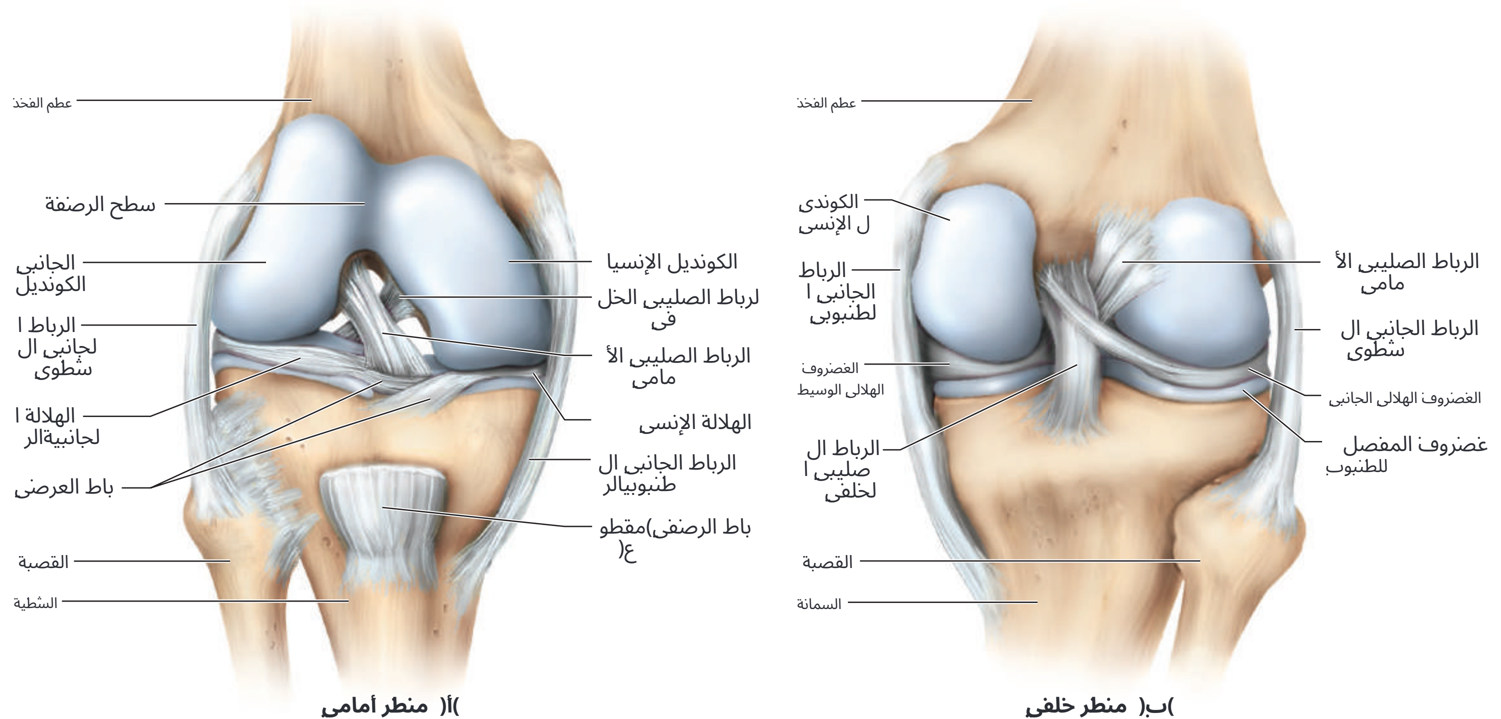
الشكل 9.27 الركبة اليمنى، التشريح الأمامى. تم قطع وتر العضلة الر
باعية الرؤوس وطيه)عكسه(للأسفل لكشف تجويف المفصل والسطح الخ
لفى للرضفة.

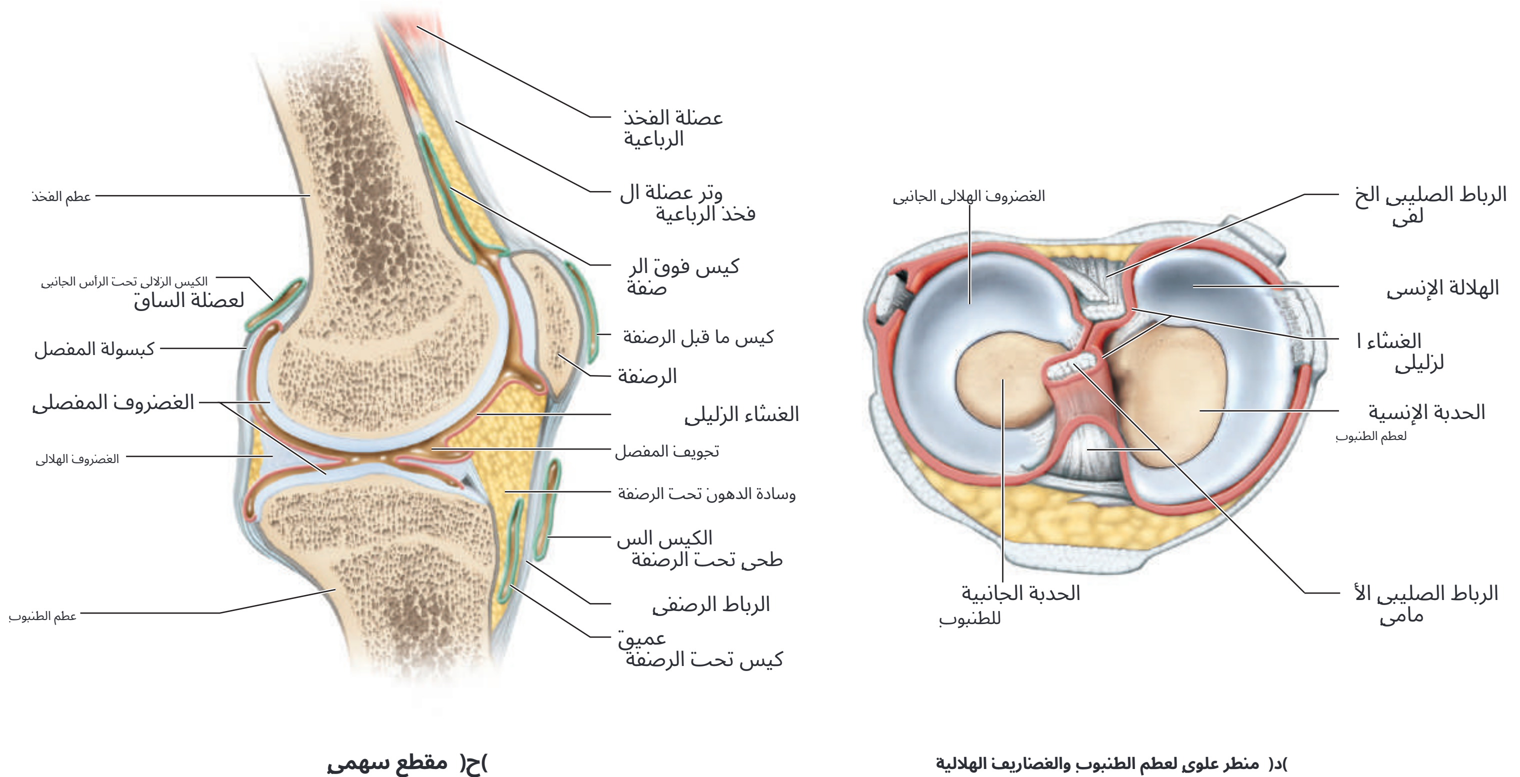
ريبيكا غراى/ماكجرو هيل

يقع الرباطان داخل الكبسولة بعمق داخل المفصل.
تطوى الغشاء الزليلى حولهما، لذا يتم استبعادهما من التجويف الزليل
ى المملوء بالسائل. تتقاطع هذه الأربطة على شكل حرف X؛ لذلك تـ
سمى الرباط الصليبى الأمامى)ACL(والرباط الصليبى الخلفى)PCL(.
تُسمى هذه الأربطة حسب الجانب الأمامى أو الخلفى لعظم الطنبوب
الذى ترتبط به، وليس حسب ارتباطها بعظم الفخذ. عندما تكون الرك
بة ممدودة، يُشد الرباط الصليبى الأمامى ويمنع فرط الامتداد. يمنع ا
لرباط الصليبى الخلفى انزلاق عظم الفخذ من مقدمة عظم الطنبوب و
يمنع إزاحة الطنبوب إلى الخلف. الرباط الصليبى الأمامى هو أحد أكثر
مواقع إصابات الركبة شيوعاً)انظر التعمق 9.4(.

[27] *teres* = دائرى

[28] *cruci* = صليب؛ *ate* = مميز بـ





الشكل 9.28 مفصل الركبة اليمنى (القصبة الفخذية). (أ) منظر أمامي لمفصل الركبة مع إزالة الرضفة. (ب) منظر خلفي. (ح) مقطع سهمى للركبة يظهر تجوف المفصل والأكياس الزلالية. (د) منظر علوى للقصبة يظهر الغضاريف الهلالية. APR

لساق. عندما تمتد الركبة إلى أقصى درجة يسمح بها الرباط الصليبي الأمامي، يدور عظم الفخذ داخليًا على عظم الظنبوب. هذا الفعل يقفل الركبة، وفي هذه الحالة، تكون جميع الأربطة الرئيسية للركبة ملتوية ومشدودة. لفك قفل الركبة، *عضلة البوبليتيوس* تدير عظم الفخذ خارجيًا وتفك التواء الأربطة.

▶▶▶ طبق ما تعرفه

ما هو الهيكل فى مفصل الكوع الذى يؤدى نفس وظيفة الرباط الصليبي الأمامي فى الركبة؟

جانب مهم من المشى على قدمين عند الإنسان هو القدرة على قفل الركبتين والوقوف منتصبًا دون إجهاد عضلات الباسطة



نظرة أعمق 9.4

التطبيق السريرى

إصابات الركبة وجراحة المنظار

على الرغم من أن الركبة يمكنها تحمل وزن كبير، إلا أنها عرضة بشدة للإجهاد الدورانى والأفقى، خاصة عندما تكون الركبة مثنية (كما فى التزلج أو الجرى) وتتلقى ضربة من الخلف أو من الجانب.
الإصابات الأكثر شيوعًا هى فى الغضروف الهلالى أو الرباط الصليبى الأمامى (ACL). الضربات الجانبية على الركبة أو الجسم، خاصة عندما يكون القدم مثبتًا بقوة على الأرض، تسبب أحيانًا ما يسمى بـ "الثالوث المؤلم" من الإصابات: تمزقات فى الرباط الجانبى الظنبوبى، والغضروف الهلالى الوسيط، والرباط الصليبى الأمامى (الشكل 9.29). هذه الهياكل الثلاثة مترابطة بقوة، لذا فإن القوة المؤذية تنتقل بسهولة من واحد إلى آخر. تلتئم إصابات الركبة ببطء لأن الأربطة والأوتار لديها إمداد دموى ضعيف والغضروف عادة لا يحتوى على أوعية دموية على الإطلاق.

تم تحسين تشخيص وعلاج إصابات الركبة جراحيًا بشكل كبير بواسطة المنظار المفصلى، وهى إجراء يتم فيه رؤية داخل المفصل باستخدام أداة رفيعة تشبه القلم، المنظار المفصلى، التى تُدخل من خلال شق صغير. يحتوى المنظار على ضوء وعدسة وألياف بصرية تسمح للمشاهد برؤية التجويف وأخذ صور فوتوغرافية أو تسجيلات فيديو. يمكن للجراح أيضًا سحب عينات من السائل الزلالى بواسطة المنظار أو حقن محلول ملحى فى تجويف المفصل لتوسيعه وتوفير رؤية أوضح. إذا كانت الجراحة مطلوبة، يمكن عمل شقوق صغيرة إضافية لأدوات الجراحة ويمكن مراقبة الإجراءات من خلال المنظار أو على شاشة. جراحة المنظار تسبب ضررًا أقل للأنسجة مقارنة بالجراحة التقليدية وتمكن المرضى من التعافى بشكل أسرع.

غالبًا ما يقوم جراحو العظام الآن باستبدال الرباط الصليبى الأمامى التالف بطُعم من الرباط الرضفى أو وتر العضلة الخلفية للفخذ. يقوم الجراح بـ "حصاد" شريط من منتصف رباط (أو وتر) المريض، ثم يحفر ثقبًا فى عظم الفخذ وعظم الساق داخل تجويف المفصل، ويمرر الرباط عبر الثقوب، ويثبته بمسامير قابلة للتحلل الحيوى.
الرباط المزروع أكثر توتراً و"كفاءة" من الرباط الصليبى الأمامى (ACL) التالف. يصبح مندمجًا مع الأوعية الدموية ويعمل كأساس لترسيب المزيد من الكولاجين، مما يعزز قوته مع مرور الوقت.
بعد إعادة بناء الرباط الصليبى الأمامى بالمنظار، عادةً ما يجب على المريض استخدام العكازات لمدة 7 إلى 10 أيام والخضوع للعلاج الطبيعى لمدة 6 إلى 10 أسابيع، تليها تمارين علاجية ذاتية التوجيه. تكتمل عملية الشفاء فى حوالى 9 أشهر.



الشكل 9.29 "الثالوث المؤلم" لإصابات الركبة.

مفصل الركبة يحتوى على حوالى 13 كيسًا زلاليًا. أربعة منها أمامية: الكيس تحت الرضفى السطحى، والكيس فوق الرضفى، والكيس قبل الرضفى، والكيس تحت الرضفى العميق. تقع فى منطقة خلف الركبة كيس الركبة الخلفى وكيس نصف الغشائى (غير موضح). ويوجد على الأقل سبعة أكياس زلالية أخرى على الجانبين الجانبى والوسيط لمفصل الركبة. من الشكل 9.28ح، ومعرفتك بعناصر الكلمات ذات الصلة (تحت-، فوق-، قبل-)، والمصطلحات السطحى و العميق، يجب أن تكون قادرًا على استنتاج المنطق وراء معظم هذه الأسماء وتطوير نظام لتذكر مواقع هذه الأكياس الزلالية.

9.3و مفصل الكاحل

مفصل الكاحل[29] (مفصل الكاحل) يشمل مفصلين — مفصل وسطى بين الظنبوب والعظم الكاحلى ومفصل جانبى بين الشظية والعظم الكاحلى، كلاهما محاط بكبسولة مفصل واحدة (الشكل 9.30).
نتوءات الظنبوب والشظية تغطى العظم الكاحلى على كل جانب مثل الغطاء وتمنع معظم الحركة الجانبية. لذلك، فإن الكاحل لديه نطاق حركة أكثر تقييدًا مقارنة بالمعصم.

[29] القعب (talo) = الكاحل؛ الساق (crural) = متعلق بالساق

أ) منظر جانبي

ب) التشريح الجانبي

ح) منظر وسطي

د) منظر خلفي

الشكل 9.30 مفصل الكاحل (مفصل التالكروكورال) وأربطة القدم اليمنى. (أ) منظر جانبي. (ب) الأربطة الجانبية في كاحل جثة مفتوحة. (ح) منظر إنسي. (د) منظر خلفي. APR

ب: كريستين إكل / ماكجرو هيل

مع كمادة ثلجية، ولكن في الحالات الشديدة قد يتطلب الأمر جبيرة أو جراحة. تم وصف الالتواءات واضطرابات المفاصل الأخرى بإيجاز في الجدول 9.1.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

12. ما الذي يمنع الحدبة الفكية من الانزلاق خارج تجويفها في الاتجاه الخلفي؟
13. اشرح كيف يدعم وتر العضلة ذات الرأسين مفصل الكتف.
14. حدد المفاصل الثلاثة الموجودة في المرفق وسمِّ الحركات التي شارك فيها كل مفصل.
15. ما الذي يمنع عظم الفخذ (الفيمور) من الانزلاق إلى الخلف عن عظم الظنبوب (التيبيا)؟
16. ما الذي يمنع عظم الظنبوب (التيبيا) من الانزلاق جانبياً عن عظم الكاحل (التالوس)؟

تشمل أربطة الكاحل (1) الأربطة الظنبوبية الشظوية الأمامية والخلفية، التي تربط الظنبوب بالشظية؛ (2) رباط وسطي متعدد الأجزاء (رباط دلتاوي[30]) يربط الظنبوب بالقدم من الجانب الوسطي؛ و(3) رباط جانبي متعدد الأجزاء (رباط جانبي) يربط الشظية بالقدم من الجانب الجانبي. وتر العرقوب (وتر أخيل) يمتد من عضلات الساق إلى العقب. يقوم بثني القدم نحو الأسفل (ثني أخمصي) ويحد من ثنيها نحو الأعلى (ثني ظهري). ويُحد ثني الأخمص بواسطة أوتار الباسطات على الجانب الأمامي من الكاحل وبواسطة الجزء الأمامي من كبسولة المفصل.

الالتواءات (تمزق الأربطة والأوتار) شائعة في الكاحل، خاصة عندما يتم قلب القدم فجأة إلى الداخل أو الخارج بشكل مفرط. إنها مؤلمة وعادة ما تكون مصحوبة بتورم فوري. أفضل علاج لها هو تثبيت المفصل وتقليل التورم

[30] دلتا = مثلث، الحرف اليوناني دلتا (Δ)؛ oid = يشبه

الجدول 9.1	**بعض اضطرابات المفاصل الشائعة**
التهاب المفاصل	مصطلح واسع يشمل أكثر من ١٠٠ نوع من الروماتيزم المفصلى.
التهاب الجراب	التهاب الجراب، عادة بسبب الإفراط فى استخدام المفصل.
الخلع	انزياح عظمة من موضعها الطبيعى فى المفصل، عادةً ما يصاحبه التواء فى الأنسجة الضامة المجاورة. الأكثر شيوعًا فى الأصابع، الإبهام، الكتف، والركبة.
النقرس	مرض وراثى، أكثر شيوعًا بين الرجال، تتراكم فيه بلورات حمض اليوريك فى المفاصل وتسبب تهيج الغضروف المفصلى والغشاء الزليلى. يسبب التهاب المفاصل النقرسى، مع تورم، ألم، تدهور الأنسجة، وأحيانًا اندماج المفصل. الأكثر تأثرًا هو إصبع القدم الكبير.
الروماتيزم	مصطلح عام لأى ألم فى أعضاء الدعم والحركة فى الجسم، بما فى ذلك العظام والأربطة والأوتار والعضلات.
التواء	تمزق فى الرباط أو الوتر، أحيانًا مع تلف فى الغضروف الهلالى أو غضروف آخر.
شد عضلى	تمدد مؤلم مفرط لوتر أو عضلة دون تلف خطير فى الأنسجة. غالبًا ما ينتج عن عدم الإحماء الكافى قبل التمرين.
التهاب الغشاء الزليلى	التهاب فى كبسولة المفصل، غالبًا كمضاعفة للالتواء.
التهاب الأوتار	شكل من أشكال التهاب الجراب حيث يكون غمد الوتر ملتهبًا.
يمكنك العثور على اضطرابات المفاصل الأخرى فى الأماكن التالية:	
خلل فى مفصل الفك الصدغى)TMJ(فى نظرة أعمق 9.2؛ خلع الفك فى القسم 9.3أ؛ خلع الكتف فى نظرة أعمق 9.3؛ إصابات الركبة فى نظرة أعمق 9.4؛ التهاب المفاصل فى نظرة أعمق 9.5؛ خلع الورك فى القسم 9.3د؛ و إصابة الكفة المدورة فى نظرة أعمق 10.4.	



نظرة أعمق 9.5

التطبيق السريرى

التهاب المفاصل والمفاصل الصناعية

التهاب المفاصل[31] هو مصطلح عام للألم والالتهاب فى المفصل ويشمل أكثر من مئة مرض مختلف لأسباب إلى حد كبير غير واضحة أو غير معروفة. فى جميع أش كاله، هو أكثر الأمراض المعوقة شيوعًا فى الولايات المتحدة؛ حيث يصاب به تقرى بًا كل شخص تجاوز منتصف العمر بدرجة ما. الأطباء الذين يعالجون التهاب المفا صل واضطرابات المفاصل الأخرى يُسمون أطباء الروماتيزم.

الشكل الأكثر شيوعًا من التهاب المفاصل هو التهاب المفاصل التنكسى)OA، المعروف أيضًا باسم "التهاب المفاصل الناتج عن التآكل" لأنه يبدو نتيجة طبيع ية لسنوات من التآكل على المفاصل. مع تقدم المفاصل فى العمر، تلين الغضارى ف المفصلية وتتحلل. ومع خشونة الغضروف بسبب التآكل، قد يصاحب حركة الم فصل أصوات طقطقة أو فرقعة تُسمى كريبتوس. يؤثر التهاب المفاصل التنكسى بشكل خاص على الأصابع، والمفاصل بين الفقرات، والوركين، والركبتين. مع تآك ل الغضروف المفصلى، غالبًا ما تتطور نتوءات عظمية تنمو داخل تجويف المفص ل، مما يقيّد الحركة ويسبب الألم. نادرًا ما يحدث التهاب المفاصل التنكسى قبل سن الأربعين، لكنه يؤثر على حوالى 85% من الأشخاص الذين تزيد أعمارهم عن 7 0 عامًا، خاصة أولئك الذين يعانون من زيادة الوزن. عادة لا يسبب العجز، لكنه فى الحالات الشديدة قد يعيق حركة الورك.

التهاب المفاصل الروماتويدى)RA(، الذى هو أكثر حدة بكثير من التهاب المفا صل التنكسى، ينتج عن هجوم مناعى ذاتى ضد أنسجة المفصل. يبدأ عندما ينتج ا لجسم أجسامًا مضادة لمحاربة عدوى. وعندما يفشل فى التعرف على أنسجة الج سم الخاصة، يهاجم جسم مضاد مضلل يُعرف باسم العامل الروماتويدى أيضًا الأغ شية الزليلية. تتراكم الخلايا الالتهابية فى السائل الزليلى وتنتج إنزيمات تحلل الغ ضروف المفصلى. يزداد سمك الغشاء الزليلى ويلتصق بالغضروف المفصلى، وى تجمع السائل فى كبسولة المفصل، وتغزو الكبسولة أنسجة ليفية صامة. مع استمر ار تدهور الغضروف المفصلى،

يتدهور الغضروف، ويبدأ المفصل فى التكلس، وأحيانًا تصبح العظام ملتحمة بش كل صلب ومتحجرة، وهى حالة تُسمى التصلب

losis[32])الشكل 9.31(. يميل المرض إلى التطور بشكل متماثل—إذا تطور التهاب المفاصل الروماتويدى فى

معصم أو ورك اليد اليمنى، فإنه يتطور أيضًا فى الجانب الأيسر.

التهاب المفاصل الروماتويدى يُسمى بهذا الاسم لأن الأعراض تميل إلى الاش تداد ثم التراجع)الدخول فى فترة هدوء(بشكل دورى.[33] يؤثر على النساء بنسبة أك بر بكثير من الرجال، وبما أن التهاب المفاصل الروماتويدى يبدأ عادة فى سن 30 إ لى 40، فإنه يمكن أن يسبب عقودًا من الألم والعجز. لا يوجد علاج شافٍ، لكن يم كن إبطاء تلف المفاصل باستخدام الهيدروكورتيزون أو الستيرويدات الأخرى. ومع ذلك، فإن الاستخدام طويل الأمد للستيرويدات يضعف العظام، لذلك فإن الأسبر ين هو العلاج المفضل أولاً للتحكم فى الالتهاب.

يُستخدم العلاج الطبيعى أيضًا للحفاظ على نطاق حركة المفصل وقدرة المريض الو ظيفية.

استبدال المفصل،[34] علاج كملاذ أخير، هو استبدال مفصل مريض بجهاز صناع ى يُسمى طرف صناعى للمفصل.[35] تم تطوير الأطراف الصناعية للمفاصل لأول م رة لعلاج الإصابات فى الحرب العالمية الثانية وحرب كوريا. استبدال الورك الكلى) THR(، الذى أُجرى لأول مرة فى عام 1963 على يد جراح العظام الإنجليز ى السير جون تشارنى، هو الآن الإجراء الأكثر شيوعًا فى جراحة العظام لكبار السن. تم إجراء أولى عمليات استبدال الركبة فى السبعينيات. الأطراف الصناعية للمفا صل متوفرة الآن لمفاصل الأصابع والكتف والكوع، بالإضافة إلى الورك والركبة.

يُجرى جراحة المفصل الاصطناعى لأكثر من ٠٠٠٬٠٥٢ مريض سنويًا فى الولايات المتحدة، بشكل رئيسى لتخفيف الألم واستعادة الوظيفة لدى كبار السن

الذين يعانون من القُصال العظمى)OA(أو التهاب المفاصل الروماتويدى

[31] *arthr*= مفصل؛ *itis* = التهاب

[32] *ankyl*= منحنى، معوج؛ *osis*= حالة

[33] *rheumat*= ميل للتغيير

[34] *arthro* = مفصل؛ *plasty* = إصلاح جراحى

[35] *prosthe*= شىء مضاف

تقدم جراحة استبدال المفاصل تحديات مستمرة للهندسة الطبية الحيوية. يجب أن يكون الطرف الاصطناعى فعالًا قويًا، غير سام، ومقاومًا للتآكل. بالإضافة إلى ذلك، يجب أن يرتبط بقوة بعظام المريض ويتيح نطاق حركة طبيعيًا مع أقل قدر من الاحتكاك. عادةً ما يتم استبدال رؤوس العظام الطويلة بأطراف اصطناعية مصنوعة من السيراميك الصلب جدًا مثل كربيد التيتانيوم، أو سبائك الكوبالت-الكروم، أو سبائك معدنية أخرى. أما تجاويف المفاصل فتُصنع من البولى إيثيلين (الشكل 9.32).

تُثبت الأطراف الصناعية على عظم المريض بواسطة مسامير أو إسمنت عظمى.

أدت التحسينات فى التكنولوجيا إلى تصنيع أطراف صناعية تدوم لفترات طويلة. أكثر من 75٪ من الركب الصناعية تدوم لمدة 20 عامًا، وحوالى 85٪ تدوم 15 عامًا، وأكثر من 90٪ تدوم 10 أعوام. الشكل الأكثر شيوعًا للفشل هو انفصال الطرف الصناعى عن العظم. تم تقليل هذه المشكلة باستخدام الأطراف الصناعية المطلية بطبقة مسامية، والتى تتخللها عظام المريض نفسها وتخلق رابطة أكثر متانة. ومع ذلك، فإن الطرف الصناعى ليس قويًا مثل المفصل الطبيعى، ولا يُعتبر خيارًا للعديد من المرضى الشباب والنشطين.

لقد تحسنت جراحة استبدال المفاصل بشكل كبير بفضل التصميم والتصنيع بمساعدة الكمبيوتر (CAD/CAM). يقوم الكمبيوتر بمسح الأشعة السينية للمريض ويعرض عدة خيارات تصميم للمراجعة. بمجرد اختيار التصميم، يقوم الكمبيوتر بإنشاء برنامج لتشغيل الآلات التى تنتج الطرف الاصطناعى. لقد قلل CAD/CAM فترة الانتظار للطرف الاصطناعى من 12 أسبوعًا إلى حوالى أسبوعين وخفض التكلفة بشكل كبير.



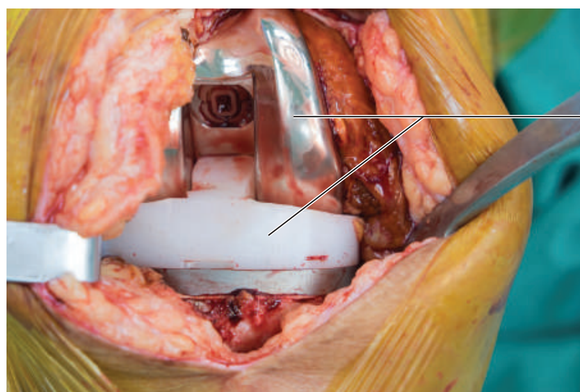
(أ)



(ب)

الشكل 9.31 التهاب المفاصل الروماتويدى (RA). (أ) حالة شديدة مع تصلب المفاصل. (ب) أشعة سينية لحالة شديدة من التهاب المفاصل الروماتويدى فى اليدين.

أ: chaowalit407/iStock/Getty Images; ب: التصوير السريرى، مستشفيات جامعة مانشستر المركزية NHS، المملكة المتحدة/Science Source



(أ)



(ب)

الشكل 9.32 أطراف المفاصل الاصطناعية. (أ) جراحة استبدال الركبة. (ب) أطراف الركبة الاصطناعية المرتبطة بالعظم الطبيعى لعظم الفخذ وعظم الساق. قارن مع الأشعة السينية فى صفحة البداية من هذا الفصل.

أ: Samrith Na Lumpoon/Shutterstock; ب: Ron Mensching/Medical Images RM

دليل الدراسة

قيّم نتائج تعلمك

لاختبار معرفتك، ناقش المواضيع التالية مع شريك دراسة أو كتابةً، ويفضل أن يكون ذلك من الذاكرة.

9.1 المفاصل وتصنيفها

1. التعريف الأساسى للمفصل (التوصيل) ولماذا لا يمكن تعريفه كنقطة يتحرك عندها عظم بالنسبة لعظم مجاور
2. العلاقات والاختلافات بين علوم الأرثولوجيا (علم المفاصل)، وعلم الحركة (الكينيسيولوجيا)، والميكانيكا الحيوية
3. النظام النموذجى لتسمية معظم المفاصل حسب العظام التى تشملها؛ أمثلة على ذلك
4. المعايير الأساسية لتصنيف المفاصل
5. خصائص وأمثلة على المفاصل العظمية (التحام العظام)
6. خصائص المفاصل الليفية (المفاصل الغضروفية) وكل من فئاتها الفرعية، مع أمثلة
7. خصائص المفاصل الغضروفية (المفاصل نصف المتحركة) وكل من فئاتها الفرعية، مع أمثلة

9.2 المفاصل الزليلية

1. التعريف والخصائص التشريحية لـ المفصل الزليلى (المفصل المتحرك)، أمثلة على هذا النوع، ولماذا هذا النوع هو الأكثر أهمية فى علم الحركة
2. التشريح العام للأوتار، الأربطة، الجراب، وأغلفة الأوتار، ومساهماتهم فى وظيفة المفصل
3. ثلاثة مكونات أساسية للرافعة
4. معنى الميزة الميكانيكية (MA)؛ كيف يمكن تحديد الميزة الميكانيكية للرافعة من خلال قياسات ذراعى القوة والمقاومة؛ والمزايا النسبية للرافعات التى تكون فيها الميزة الميكانيكية أكبر أو أقل من 1.0
5. مقارنة بين الرافعات من الدرجة الأولى والثانية والثالثة، وأمثلة تشريحية لكل منها
6. المتغيرات التى تحدد مدى حركة المفصل (ROM)، والأهمية السريرية لمدى الحركة
7. محاور الدوران ودرجات الحرية فى حركة المفصل، وكيف يرتبط ذلك بتصنيف المفاصل إلى أحادية المحور، ثنائية المحور، أو متعددة المحاور
8. ستة أنواع من المفاصل الزليلية؛ كيف يُصنف كل منها كأحادى المحور، ثنائى المحور، أو متعدد المحاور؛ العيوب فى هذا التصنيف؛ وأمثلة على كل نوع فى الجسم
9. مفهوم الوضع الصفرى وكيف يرتبط بوصف وظيفة المفصل
10. أمثلة على كل من الحركات التالية للأطراف، بما فى ذلك القدرة على وصفها أو إظهارها: الثنى، التمديد، الإبعاد، التقريب، الدوران المحيطى، الدوران الوسيط، والدوران الجانبى
11. نفس الشىء بالنسبة للالتواء، الالتواء العكسى، ثنى الزند، وثنى الكعبرة فى الساعد واليد، والمعارضة، إعادة الوضع، الإبعاد، والتقريب للإبهام
12. نفس الشىء بالنسبة للثنى، التمديد، التمديد المفرط، والانحناء الجانبى للعمود الفقرى، والدوران يمينًا ويسارًا للجذع
13. نفس الشىء بالنسبة للرفع، الانخفاض، الإبراز، السحب، والحركات الجانبية والوسطى للفك السفلى (الفك)
14. نفس الشىء بالنسبة للثنى الظهرى، ثنى الأخمص، الانقلاب، الإمالة، الالتواء، والالتواء العكسى للقدم

9.3 تشريح المفاصل الزلالية المختارة

1. خصائص مفصل الفك (الفك الصدغى) بما فى ذلك الحدبة الفكية، الحفرة الفكية، التجويف الزلالى، القرص المفصلى، والأربطة الرئيسية
2. خصائص مفصل الكتف (الكتفى) بما فى ذلك رأس العضد، الحفرة الحقانية والشفاه، خمسة أربطة رئيسية وأربعة أكياس زلالية، وأوتار العضلة ذات الرأسين العضدية وأربعة عضلات الكفة المدورة
3. خصائص مفصل المرفق؛ الثلاثة مفاصل التى تحدث هنا؛ كيس الزند وأربعة أربطة رئيسية
4. ميزات مفصل الورك (العجزى) بما فى ذلك رأس عظم الفخذ، فجوة الرأس (فوفيا كابيتيس)، الحُقّ (الاستابولوم) والشفاه (لابروم)، وخمسة أربطة رئيسية
5. ميزات مفصل الركبة (القصبة والفخذ والرضفة والفخذ)، بما فى ذلك الغضاريف الهلالية، الأربطة الصليبية وغيرها من الأربطة، وأربعة أكياس زلالية رئيسية حول الرضفة
6. ميزات مفصل الكاحل (التالوكورورال)، بما فى ذلك الكعوب (الملايولى)، وتر العقب، والأربطة الرئيسية

الإجابات فى الملحق أ

اختبار استدعائك للمعلومات

1. الدوران الداخلى والخارجى لعظم العضد يصبح ممكنًا بواسطة ______ مفصل.
   أ. محور
   ب. المفصلى
   ج. مفصل كروى ومحورى
   د. مفصل سرجى
   هـ. مفصل مفصلى
2. أى من التالى هو الأقل حركة؟
   أ. مفصل متحرك (دياثروز)
   ب. مفصل ملتحم (سينوستوسيس)
   ج. مفصل غضروفى (سيمفيسيس)
   د. مفصل زليلى
   هـ. مفصل غضروفى
3. أى من الحركات التالية فريدة للقدم؟
   أ. ثنى الظهر والانقلاب
   ب. الرفع والخفض
   ج. الدوران والالتفاف
   د. الابتعاد والإقتراب
   هـ. المقابلة والإعادة

دراسة الدليل

12. كيس مملوء بالسائل يسهّل حركة الوتر فوق ا لعظم يسمى ______.

13. يسمح لمفصل واحد لعظم بالدوران على ______ مفصل آخر.

14. ______ هو علم الحركة.

15. المفصل بين السن والفك السفلى يسمى ______.

16. الدرز، العظام المتحركة ______ فى لها حواف متداخلة ومتموجة، تشبه إلى حد ما وصلة ذيل الحمامة فى النجارة.

17. عند ركل كرة القدم، ما نوع الحركة التى يطه رها مفصل الركبة؟

18. الزاوية التى يمكن للمفصل أن يتحرك من خلاله ا تُسمى ______.

19. الغضاريف الهلالية للركبة وظيفيًا مشابهة من الصدغى الفكى- ______ لـ مفصل الفك السفلى.

20. عند الكاحل، ما هى عظمة الرسغ التى تتصل بها كل من الظنبوب والشظية؟

د. دائمًا ما يُنتج *القوة الميكانيكية* أقل من 1.0.
هـ. يُطبّق على جانب واحد من نقطة الارتكاز لتحريك مقاومة على الجانب الآخر.

8. أى من المفاصل التالية يحتوى على الأربطة الصليبية الأمامية والخلفية؟
أ. الكتف
ب. الكوع
ج. الورك
د. الركبة
هـ. الكاحل

9. الانحناء إلى الخلف عند الخصر يتضمن ______ من العمود الفقرى.
أ. الدوران
ب. التمدد المفرط
ج. الثنى الظهرى
د. الابتعاد
هـ. الثنى

10. تشمل عضلة الكفة المدورة أوتار جميع العضلات التالية *ما عدا*
أ. العضلة تحت الكتف (السابسكابولاريس).
ب. العضلة فوق الشوكية.
ج. العضلة تحت الشوكية.
د. عضلة العضد ذات الراسين.
هـ. العضلة المدورة الصغرى.

11. الزيتان فى المفصل الزليلى يسمى ______.

4. أى من المفاصل التالية لا يمكن تحريكها بحركة دائرية؟
أ. مفصل الرسغ-مشط اليد
ب. مفصل مشط الأصابع
ج. مفصل الكتف (الحقانى العضدى)
د. مفصل الورك
هـ. مفصل بين السلاميات

5. أى من المصطلحات التالية يدل على حالة عامة تشمل الأربع الأخرى؟
أ. النقرس
ب. التهاب المفاصل
ج. الروماتيزم
د. التهاب المفاصل التنكسى (الفصال العظمى)
هـ. التهاب المفاصل الروماتويدى

6. فى البالغين، يتحد العجز والعانة بواسطة
أ. مفصل غضروفى (سينكوندروز).
ب. مفصل زليلى (دياثروز).
ج. تأصل عظمى (سينوستوزيج).
د. مفصل نصف زليلى (امفيارثروز).
هـ. مفصل تلازرى (سيمفيسيس).

7. فى الرافعة من الدرجة الثانية، يكون الجهد
أ. يُطبّق على الطرف المقابل لل نقطة الارتكاز.
ب. يُطبّق على نقطة الارتكاز نفسها.
ج. يُطبّق بين نقطة الارتكاز و المقاومة.

بناء مفرداتك الطبية

الإجابات فى الملحق أ

اذكر معنى كل عنصر من عناصر الكلمة، وقدم مصطلحًا طبيًا من هذا الفصل يستخدمه أو تغييرًا طفيفًا له.

1. ab-
2. arthro-
3. -ate
4. cruci-
5. cruro-
6. -duc
7. kinesio-
8. men-
9. supin-
10. تراك-

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

الإجابات فى الملحق أ

اشرح بإيجاز لماذا كل من العبارات التالية خاطئة، أ و أعد صياغتها لتصبح صحيحة.

1. عدد الأشخاص الذين يصابون بالتهاب المفاصل الروماتويدى أكثر من الذين يصابون بالفصال العظمى.
2. الطبيب الذى يعالج التهاب المفاصل يُسمى عالم حركة (kinesiologist).
3. المفاصل الزليلية تُعرف أيضًا بالمفاصل الثابتة (synarthroses).
4. الهلاليات (المنيسكى) توجد فى مفاصل الكوع والركبة.
5. الوصول إلى الخلف لأخذ شىء من جيب الور ك يتضمن انثناء الكتف.
6. الأربطة الصليبية توجد فى القدمين.
7. عظم الفخذ (الفيمور) مثبت بإحكام فى الحُق (الاستابولوم) بشكل رئيسى بواسطة الرباط الدائرى.
8. المفاصل عند مفاصل الأصابع (العقد) هى مفاصل نصف متحركة (amphiarthroses).
9. السائل الزليلى يُفرز بواسطة الجراب الزليلى (bursae).
10. مثل معظم الأربطة، تربط الأربطة اللثوية عظ مة واحدة (السن) بعظمة أخرى (الفك السفلى أ و الفك العلوى).

دليل الدراسة

اختبار فهمك

1. جميع الروافع من الدرجة الثانية تنتج ميزة مى كانيكية أكبر من 1.0 وجميع الروافع من الدرجة الثالثة تنتج ميزة ميكانيكية أقل من 1.0. اشرح السبب.

2. لكل من حركات المفاصل التالية، حدد العظم ا لذى يمر من خلاله محور الدوران وأى من الطا ئرات التشريحية الثلاث يحتوى على محور الد وران. قد تجد من المفيد تنفيذ بعض هذه ا لحركات على هيكل عظمى مفصل فى ال مختبر حتى تتمكن من تصور محور الدوران بسهولة أكبر.)أ(الانثناء الأخمصى؛)ب(انثنا ء الورك؛)ح(الابتعاد عن الفخذ؛)د(انثناء الركبة؛)هـ(الانثناء المفصل بين السلامى الأول من إصبع الس بابة.)لا تقم بثنى أصابع يد هيكل عظمى مخ برى موصلة بأسلاك، لأنها قد تنكسر.(

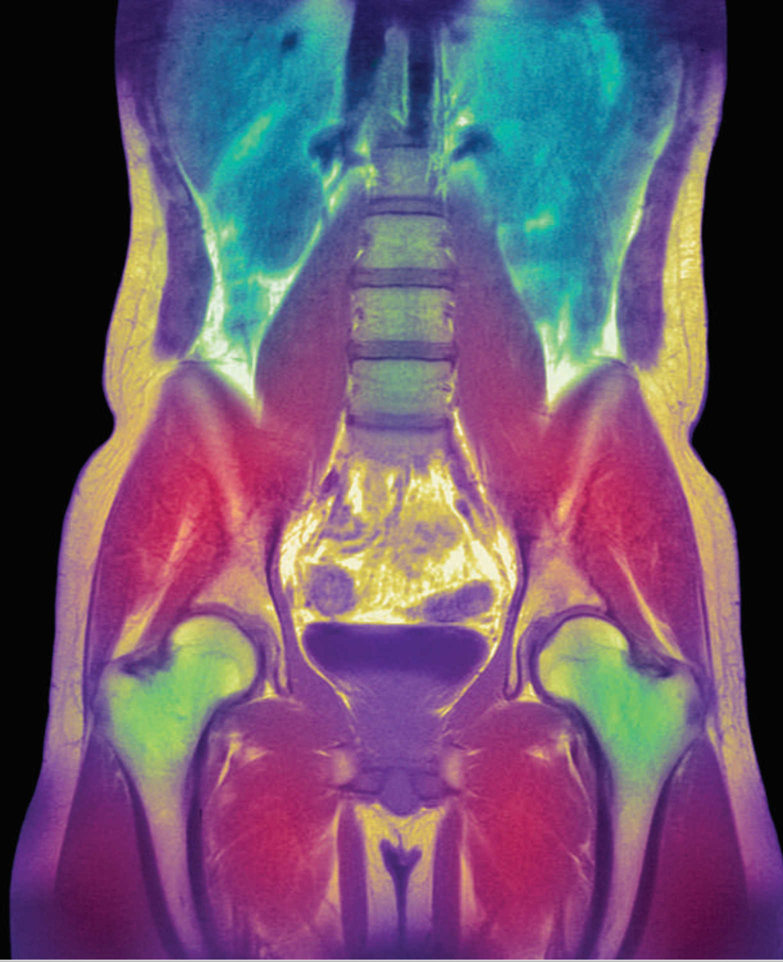
3. حسب ترتيب الحدوث، قم بسرد حركات الم فاصل)الثنى، الدوران، إلخ(والمفاصل ا لتى تحدث فيها أثناء قيامك بـ)أ(الجلو س على الطاولة،)ب(مد اليد والتقاط تفاحة،)ح(أخذ قضمة، و)د(مضغها. افتر ض أنك تبدأ فى الوضع التشريحى.

4. يندمج عضلة الدلتويد على نتوء الدلتويد لع طم العضد وتبعد الذراع. تخيل شخصًا يحمل وزنًا فى اليد و يبعد الذراع عن الجسم. على هيكل عظمى فى المختبر، حدد نقطة الارتكاز؛ قِس ذراع ا لقوة وذراع المقاومة؛ حدد الميزة الميكانيكية لهذه الحركة؛ وحدد أى نوع من أنواع الروا فع الثلاثة يعمل به الطرف العلوى عند أداء هذه الحركة.

5. اذكر الأنواع الستة للمفاصل الزليلية، ولكل نوع ، إذا أمكن، حدد مفصلًا فى الطرف العلوى وم فصلًا فى الطرف السفلى ينتميان إلى كل فئة. أ ى من هذه المفاصل الستة لا يوجد له/لها أم ثلة فى الطرف السفلى؟

الفصل 10

الجهاز العضلي



مسح بالرنين المغناطيسي ملون يُظهر عضلات مناطق القطنية والحوص وا لفخذ العلوية

سيمون فريزر/مصدر علمي

رؤى أعمق

10.1 التطبيق السريري: متلازمة الحيز

10.2 التطبيق السريري: الرفع الثقيل وإصا بات الظهر

10.3 التطبيق السريري: الفتوق

10.4 التطبيق السريري: إصابة الكفة المدورة

10.5 التطبيق السريري: متلازمة النفق ا لرسغي

10.6 التطبيق السريري: ألم الساق الأمامي

10.7 التطبيق السريري: تمزق وتر العقب

10.8 التطبيق السريري: التهاب اللفافة الأخمصية

10.9 التطبيق السريري: الإصابات الرياضية ا لشائعة

Anatomy & Physiology Revealed 4.0

الوحدة 6: الجهاز العضلي

مخطط الفصل

10.1 التنظيم الهيكلي والوظيفي للعضلات

10.1a وظائف العضلات

10.1b الأنسجة الضامة للعضلات، الحزم، والحجرات

10.1c ارتباطات العضلات

10.1d المجموعات الوظيفية للعضلات

10.1e التعصيب والتروية الدموية

10.1f أسماء العضلات واستراتيجية التعلم

10.2 عضلات الرأس والرقبة

10.2a عضلات تعبير الوجه

10.2b عضلات المضغ والبلع

10.2c عضلات تؤثر على الرأس والرقبة

10.3 عضلات الجذع

10.3a عضلات التنفس

10.3b عضلات جدار البطن

10.3c عضلات الطهر

10.3d عضلات قاع الحوض

10.4 عضلات تؤثر على الكتف والطر ف العلوي

10.4أ العضلات المؤثرة على الكتف

10.4ب العضلات المؤثرة على الذراع

10.4ح العضلات المؤثرة على المرفق و ساعد اليد

10.4د العضلات المؤثرة على الرسغ واليد

10.4هـ العضلات الجوهرية في اليد

10.5 العضلات المؤثرة على الورك و الطرف السفلي

10.5أ العضلات المؤثرة على الورك والفخذ

10.5ب العضلات المؤثرة على الركبة والساق

10.5ح العضلات المؤثرة على الكاحل والقدم

10.5د العضلات الجوهرية في القدم

دليل الدراسة

كلمة *عضلة*[1] تعنى "فأر صغير"، ويبدو أنها
ابتكرت من قبل أحد العلماء اليونانيين القدماء الذين ظنوا أن
العضلات الهيكلية التى تتحرك تحت الجلد تشبه الفئران التى تسرع فى الجرى.
كما رأينا فى الفصل الخامس، هناك ثلاثة أنواع من العضلات—الهيك
لية، القلبية، والملساء. على الرغم من اختلافاتها، فإن جميع العضلات
متخصصة فى غرض أساسى واحد: تحويل الطاقة الكيميائية لـ ATP إ
لى الطاقة الميكانيكية للحركة. تمارس خلايا العضلات قوة على الأنسج
ة والأعضاء الأخرى، إما لإنتاج حركات مرغوبة أو لمنع الحركات غير الم
رغوبة.

10.1a وظائف العضلات

تعمل الأنواع الثلاثة من العضلات مجتمعة على الوظائف التالية:

- الحركة. تمكننا العضلات من التنقل من مكان إلى آخر ومن تحر يك أجزاء الجسم الفردية؛ كما تحرك محتويات الجسم خلال عمل ية التنفس، ودوران الدم، والتغذية والهضم، والتبرز، والتبول، والولادة؛ وتؤدى أدوارًا مختلفة فى التواصل—الكلام، والك تابة، وتعبيرات الوجه، ولغة الجسد الأخرى.
- الثبات. تحافظ العضلات على الوضعية من خلال منع الحركات غير ا لمرغوب فيها. يُطلق على بعضها اسم *عضلات مقاومة الجاذبية* لأ نها، على الأقل فى بعض الأوقات، تقاوم جذب الجاذبية وتمنعنا من ال سقوط أو الانحناء. كما تقوم العديد من العضلات أيضًا بتثبيت المفا صل من خلال الحفاظ على التوتر فى الأوتار والعظام.
- التحكم فى فتحات وممرات الجسم. العضلات التى تحيط بالفم لا تخدم فقط الكلام بل أيضًا تناول الطعام واحتجاز الطعام أ ثناء المضغ. فى الجفن والبؤبؤ، تنظم دخول الضوء إلى العين. تتحكم الحلقات العضلية الداخلية فى حركة الطعام، والصفراء، وا لدم، والمواد الأخرى داخل الجسم. العضلات التى تحيط بالإحل يل والشرج تتحكم فى التخلص من الفضلات.)بعض هذه الع ضلات تُسمى *المصارر* ولكن ليس كلها؛ وسيتم توضيح ذلك لاحقًا.(
- إنتاج الحرارة)التوليد الحرارى(. تنتج العضلات الهيكلية 20% إلى 30% من حرارة الجسم فى حالة الراحة وحتى 85% أثناء التم رين. هذه الحرارة ضرورية لوظيفة الإنزيمات وبالتالى لجميع عم ليات الأيض. وعندما تنقص، يموت الإنسان من انخفاض حرارة الجسم.
- إفراز الهرمونات. تفرز العضلات الممارسة للتمارين هرمونات)m yokines(تحفز تكوين الجلوكوز فى الكبد وت حلل الدهون الحشوية)داخل تجويف الجسم(.
- التحكم فى نسبة الجلوكوز فى الدم. يعنى هذا تنظيم تركيز ال جلوكوز فى الدم ضمن نطاقه الطبيعى. تمتص العضلات الهيكلية وتخزن وتستخدم جزءًا كبيرًا من جلوكوز الجسم و تلعب دورًا مهمًا فى تثبيت تركيزه فى الدم. مع التقدم فى العمر، أو السمنة، وعندما تضعف العضلات وتفقد لياقتها، يزدا د خطر الإصابة بمرض السكرى من النوع الثانى بسبب تراجع ه ذه الوظيفة الموازنة للجلوكوز.

يتناول بقية هذا الفصل العضلات الهيكلية فقط.
مصطلح الجهاز العضلى يشير فقط إلى هذه العضلات، وليس إلى ال
نوعين الآخرين من العضلات. دراسة العضلات الهيكلية تسمى علم ا
لعضلات)myology(.[2] يوجد حوالى 600 عضلة فى الجهاز العضلى ا
لبشرى، ولكن لحسن الحظ لا يُتوقع منك حفظ 600 اسم! العديد منها

[1] *mus* = فأر؛ *cle* = صغير
[2] *myo* = عضلة؛ *logy* = دراسة

مراجعة

- فهم العضلات الهيكلية يعتمد على معرفة دقيقة بتشريح الهيكل العظم ى)الفصل 8(، بما فى ذلك ليس فقط العظام ولكن أيضًا ميزات سط حها)الجدول 8.2(، والتى كثير منها تعتبر نقاط ارتباط للعضلات.
- يصف هذا الفصل الحركات التى تنتجها العضلات، المسماة أفعالها، باستخدام مصطلحات حركات المفاصل فى القسم 9.2ح.

تشكل العضلات ما يقرب من نصف وزن الجسم وتحتل مكانة مركز ية فى عدة مجالات من الرعاية الصحية واللياقة البدنية. يجب أن يكو ن أخصائيو العلاج الطبيعى والمهنى على دراية جيدة بالجهاز العضلى لتخط يط وتنفيذ برامج التأهيل. يتبع الرياضيون والمدربون والراقصون والأكروبا تيون وهواة اللياقة البدنية برامج تدريب المقاومة لتقوية مجموعات عضلية معينة من خلال أنظمة حركة تعتمد على معرفة تشريح العضلات والعظام والمفاصل. يستخدم الممرضون معرفتهم بالجهاز العضلى لإعطاء الحقن ا لعضلية بشكل صحيح ولتحريك المرضى الذين يعانون من إعاقات جسدية بأمان وفعالية. يدرك ممرضو الشيخوخة بعمق كيف يؤثر وضع العضلات ل دى الشخص على جودة الحياة فى سن الشيخوخة. الجهاز العضلى مهم للغا ية للتخصصات الطبية الحيوية حتى خارج نطاق علوم الحركة. على سبيل ا لمثال، هو المصدر الأساسى لحرارة الجسم لدى الفرد المتحرك، ويمكن أن يكون فقدان كتلة العضلات عاملاً مساهماً فى داء السكرى.

يرتبط الجهاز العضلى ارتباطًا وثيقًا بما تناولناه فى الفصول السابقة. بعد ذلك، سنستعرض آليات انقباض العضلات على المستويات الخلوية وا لجزيئية فى الفصل 11، وسيسلط الفصل 12 الضوء على العلاقة بين الع ضلات والأعصاب التى تتحكم بها.

10.1 التنظيم الهيكلى والوظيفى للعضلات

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف الوظائف المختلفة للنسيج العضلى؛
ب. وصف مكونات النسيج الضام فى العضلة وعلاقتها بالتنظيم الدا خلى للعضلة وتقسيم مجموعات العضلات؛
ج. ربط حزم العضلات بأشكال العضلات وقوتها النسبية؛
د. تسمية أنواع ارتباطات العضلات بالعظام وشرح نقائص تسمية ارتباطاتها بالبدايات و المدخلات؛
هـ. التمييز بين العضلات الجوهرية والعضلات الخارجية؛
و. وصف الطرق التى تعمل بها العضلات كمجموعات للمساعدة، والمعارضة، وتعديل أفعال بعضها البعض؛
ز. وصف بشكل عام إمداد الأعصاب والدم إلى العضلات الهيكلية؛ و
ح. اشرح كيف تساعد الأسماء اللاتينية للعضلات فى تصورها وتذكره ا.

. الإندوميسيوم[3] (EN-doe-MIZ-ee-um). هذا غلاف رقيق م ن النسيج الضام الرخو الذى يحيط بكل ليف عضلى. يخلق مساحة للشعيرات الدموية والألياف العصبية للوصو ل إلى كل ليف عضلى، مما يضمن ألا يكون أى خلية عضلية بدون تحفيز وتغذية. كما يوفر الإندوميسيوم البيئة الكيميا ئية خارج الخلية لليف العضلى والنهاية العصبية المرتبطة به. يع تمد إثارة الليف العضلى على تبادل أيونات الكالسيوم والصود يوم والبوتاسيوم بين سائل نسيج الإندوميسيوم والألياف العص بية والعضلية.

[3] *endo*= داخل؛ *mys*= عضلة

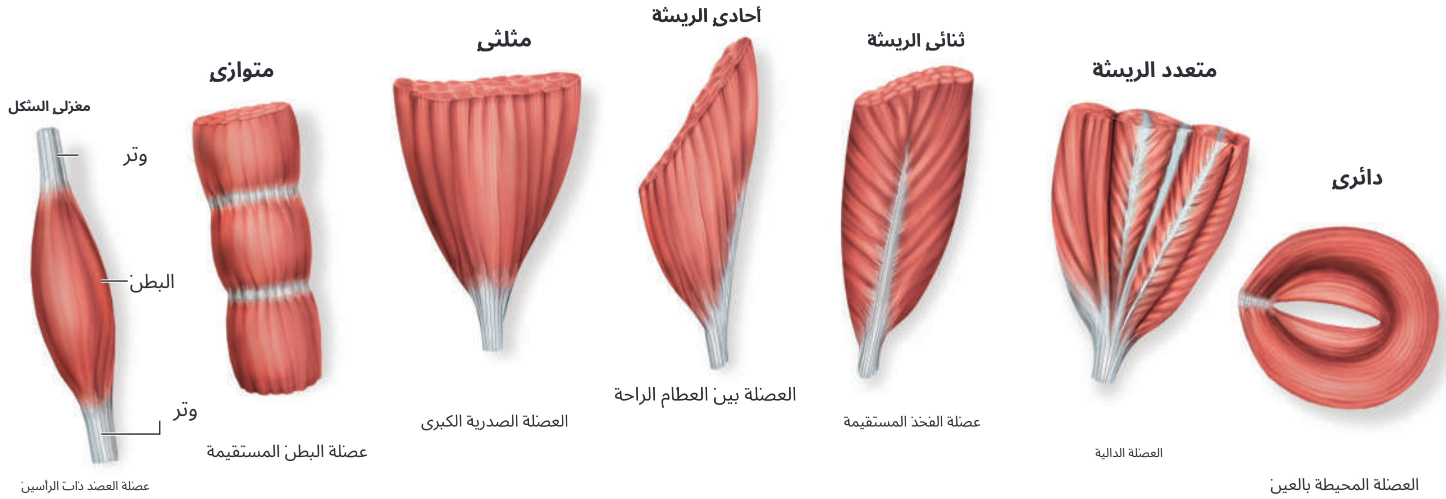
أسماء متكررة، مثل العضلات اليمنى واليسرى لنفس الاسم وسلسلة العضلات بين الأضلاع والفقرات. يصف هذا الفصل أقل من ثلث الع ضلات. يتم مناقشة العضلات الملساء والقلبية فى الفصلين 11 و19.

10.1ب الأنسجة الصامة للعضلات، الحزم، والأقسام

تتكون العضلة الهيكلية من أكثر من نسيج عضلى فقط. فهى تشمل أ يضًا الأنسجة الصامة، والأعصاب، والأوعية الدموية. مكونات الأنسجة الصامة، من الأصغر إلى الأكبر ومن العميق إلى السطحى، هى كما يل ى (الشكل 10.1):

الشكل 10.1 الأنسجة الصامة للعضلة. (أ) ارتباط العضلة بالعظم وتقسيمات العضلة الهيكلية. (ب) مقطع عرضى للفخذ يظهر علاقة العضلات المجاورة باللفافات والعظم. (ح) حزم العضلات فى اللسان. تُرى الحزم العمودية التى تمر بين السطح العلوى والسفلى للسان بالتناوب مع الحزم الأفقية المقطعة عرضيًا التى تمر من الخلف إلى طرف اللسان. يمكن رؤية غشاء بريميسيوم ليفى بين الحزم، ويمكن رؤية إندوميسيوم بين ألياف العضلات داخل كل حزمة. (c.s = مقطع عرضى؛ l.s = مقطع طولى)

ج: فيكتور إيروسنشيكو



الشكل 10.2 تصنيف العضلات وفقًا لاتجاه الألياف. الألياف هى الحبوب المرئية فى كل رسم توضيحى.
أنواع العضلات مسماة فى الأعلى ومثال على كل نوع فى الأسفل.

- البيريميسيوم.[4]هذا غلاف نسيج ضام أكثر سمكًا يلف ألياف العضلات معًا فى حزم تسمى الحزم العضلية(FASS-ih-culs) [5]. تتكون الحزمة عادة من 20 إلى 60 ليفًا عضليًا. الحزم العضلية مرئية للعين المجردة كخيوط متوازية — مثل حبيبات اللحم المقطوع؛ إذا قمت بسحب لحم البقر المشوى المطرى بالشوكة، فإنه ينفصل على طول هذه الحزم. يحمل البيريميسيوم الأعصاب والأوعية الدموية الأكبر بالإضافة إلى مستقبلات التمدد المسماة مغازل العضلات.
- الإبى ميسيوم.[6]هذا غلاف ليفى يحيط بالعضلة بأكملها. على سطحه الخارجى، يتحول الإبى ميسيوم تدريجيًا إلى اللفافة، وعلى سطحه الداخلى يصدر نتوءات بين الحزم لتشكيل البيريميسيوم.
- اللفافة[7])FASH-ee-uh(. هذه طبقة من النسيج الضام التى تفصل بين العضلات المجاورة أو مجموعات العضلات عن بعضها البعض وعن النسيج تحت الجلد. تُجمع العضلات فى حُجرات مفصولة عن بعضها بواسطة اللفافات.

الألياف العضلية المحددة بواسطة البريميزيم)الغشاء المحيط بالألياف(تكون موجهة بطرق متنوعة تحدد قوة العضلة والاتجاه الذى تسحب فيه. وفقًا لاتجاه الألياف، تُصنف العضلات كما هو موضح فى الشكل 10.2.

- العضلات المغزلية الشكل)Fusiform(تكون سميكة فى الوسط، مع تجمع الألياف عند كل نهاية مدببة. من أمثلة هذا النوع عضلة العضد ذات الرأسين)البيسبس براشيى(فى الذراع وعضلة الساق)العضلة ثلاثية الرؤوس الساقية - Gastrocnemius(فى الساق. قوة العضلة تتناسب مع قطر العضلة عند أسمك نقطة لها، والعضلات المغزلية الشكل تكون قوية نسبيًا.
- العضلات المتوازية)Parallel(لها عرض موحد إلى حد ما وألياف متوازية. بعض هذه العضلات تكون على شكل أحزمة طويلة، مثل عضلة المستقيم البطنى)Rectus abdominis(فى البطن، وعضلة السرتوريوس)Sartorius(فى الفخذ، وعضلة الوجنة الكبرى)Zygomaticus major(فى الوجه. وأخرى تكون أكثر رباعية الشكل وتسمى العضلات الرباعية الأضلاع)Quadrilateral(، مثل عضلة الماضغة)Masseter(فى الفك. يمكن للعضلات المتوازية أن تمتد لمسافات طويلة،

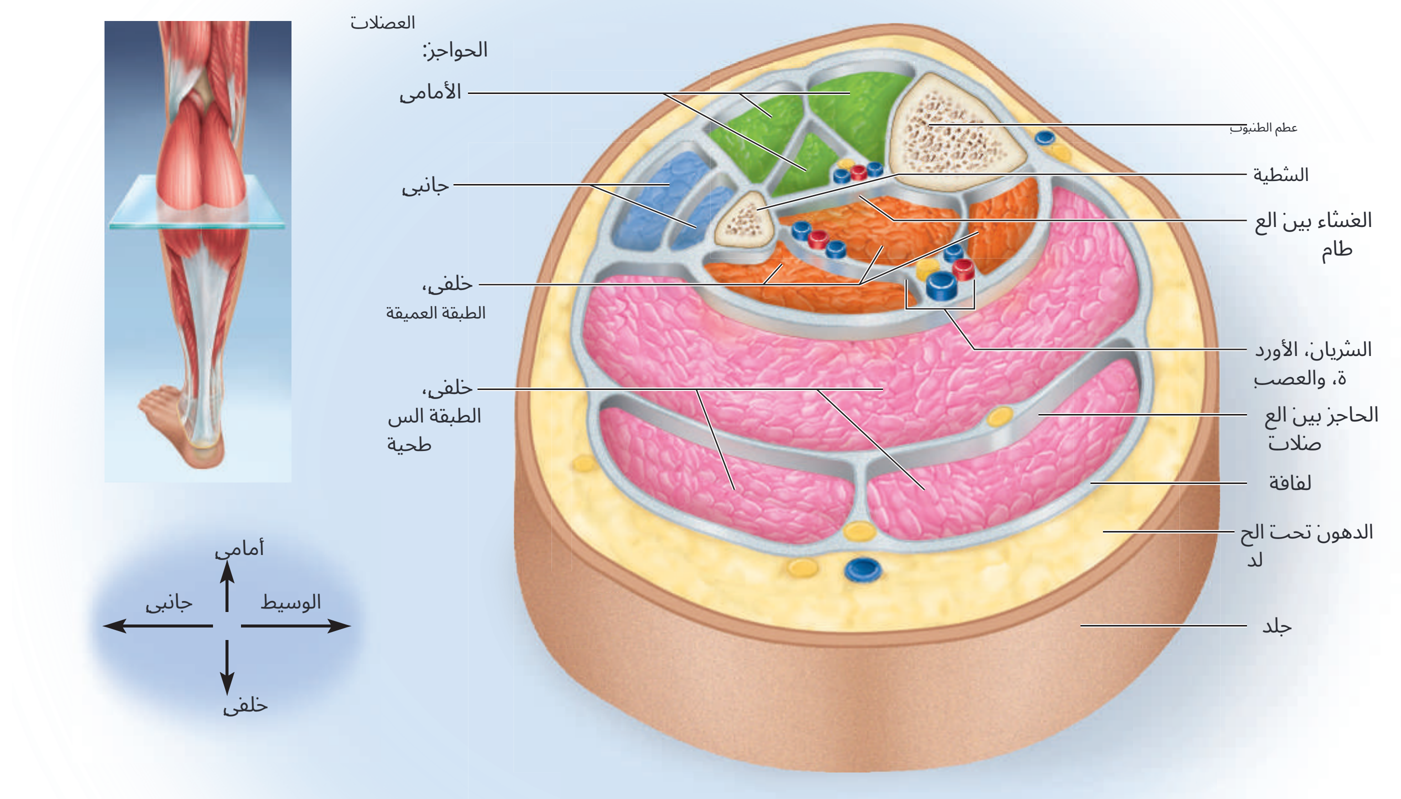
مثلًا من الورك إلى الركبة، وهى تقصر أكثر من أنواع العضلات الأخرى. ومع ذلك، وبما أن لديها ألياف عضلية أقل من العضلة المغزلية ذات الكتلة نفسها، فإنها تنتج قوة أقل.

- العضلات المثلثية)المتقاربة(على شكل مروحة—عريضة فى أحد الطرفين وتتجمع الحزم العضلية عند الطرف الآخر الأضيق. من الأمثلة على ذلك *العضلة الصدرية الكبرى* فى الصدر و*العضلة الصدغية* على جانب الرأس. على الرغم من مواضع إدخالها الصغيرة المحددة على العظم، فإن هذه العضلات قوية نسبيًا لأنها تحتوى على عدد كبير من الألياف فى الجزء الأوسع من العضلة.
- العضلات الريشية[9]على شكل ريشة. تدخل حزمها العضلية بشكل مائل على وتر يمتد على طول العضلة، مثل عمود الريشة. هناك ثلاثة أنواع من العضلات الريشية:
  العضلات أحادية الريشة، حيث تقترب جميع الحزم العضلية من الوتر من جانب واحد)على سبيل المثال، *العضلات بين العطمية الراحة* فى اليد و*العضلة نصف الغشائية* فى الفخذ(؛ *العضلات ثنائية الريشة*، حيث تقترب الحزم العضلية من الوتر من كلا الجانبين)على سبيل المثال، *العضلة المستقيمة الفخذية* فى الفخذ(؛ و*العضلات متعددة الريش*، التى تشبه مجموعة من الريش تتقارب أعمدتها عند نقطة واحدة)على سبيل المثال، *العضلة الدالية* فى الكتف(. تولد هذه العضلات قوة أكبر من الأنواع السابقة لأنها تحتوى على عدد أكبر من الألياف العضلية فى طول معين من العضلة.
- العضلات الدائرية)المصرة(تحتوى على حزم عضلية مرتبة فى حلقات حول بعض الفتحات والممرات فى الجسم. عند انقباضها، تضيق الفتحة وتميل إلى منع مرور المواد من خلالها. من الأمثلة على ذلك *العضلة المحيطة بالعين* فى الجفون و*المصرة الإحليلية الخارجية* و*المصرة الشرجية*. يمكن للعضلات الملساء أيضًا أن تشكل مصرات—على سبيل المثال، *صمام البواب* عند الممر من المعدة إلى الأمعاء الدقيقة وبعض المصرات فى الجهاز البولى وقناة الشرج.

الأغشية الليفية ليست مكونات من العضلات نفسها، بل تقوم بتغليف مجموعات من العضلات ذات الوظائف المرتبطة فى حجرات عضلية)الشكل 10.3(وتقف بين العضلات والأنسجة المغطية فوقها.

[4]*peri*= حول؛ *mys*= عضلة
[5]*fasc*= حزمة؛ *icle* = صغير
[6]*epi* = فوق، على؛ *mys*= عضلة
[7]*fascia* = شريط
[8]الأنسجة المغزلية = المغزل؛ الشكل = الشكل

[9]ريشة = الريشة؛ مميز ب = يتميز ب



الشكل 10.3 حواجز العضلات. مقطع عرضى للساق اليسرى أعلى قليلاً من منتصف الساق، موجه بنفس اتجاه ساق القارئ اليسرى.

10.1c ارتباطات العضلات

تنبثق مكونات النسيج الضام للعضلة منها كألياف كولاجينية تستمر فى وترها أو فى ارتباطها العظمى الآخر، ثم إلى السمحاق ومصفوفة ا لعظم، مما يخلق استمرارية هيكلية قوية جدًا من العضلة إلى العظم. بعض العضلات لا تلتصق بالعظام بل باللفافة أو وتر عضلة أخرى أو بألياف الكولاجين فى الأدمة. على سبيل المثال، الوتر البعيد لعضلة ا لعضد ذات الرأسين يلتصق جزئيًا بلفافة الساعد. العديد من عضلات ا لوجه تلتصق بجلد الشفاه والجفون ومناطق أخرى، مما يمكنها من إن تاج تعبيرات مثل الابتسامة أو الغمزة.

الارتباطات المباشرة وغير المباشرة

لدى العضلات شكلان من الارتباط بالعظام — مباشر وغير مباشر. فى الارتباط المباشر)اللحمى(، مثل العضلة العضدية)براكياليس(والرأ س الجانبى للعضلة ثلاثية الرؤوس العضدية)ترايسبس براكيى(فى الش كل 10.4، يكون هناك فصل قليل جدًا بين العضلة والعظم بحيث يبدو ا لنسيج العضلى الأحمر للعين المجردة كأنه ينبثق مباشرة من العظم. وم ع ذلك، على المستوى المجهرى، تتوقف ألياف العضلات قبل العظم بق ليل ويُجسر الفجوة بين العضلة والعظم بألياف كولاجينية.
فى الارتباط غير المباشر، تنتهى العضلة بشكل واضح قبل وجه تها العظمية، وتُجسر الفجوة بحبل أو شريط ليفى يسمى وترًا. انظر، ع لى سبيل المثال، طرفى العضلة ذات الرأسين العضدية فى الشكل 1 0.4 والصور الفوتوغرافية للأوتار فى الشكلين 10.32ب و10.37. يمك نك بسهولة تحسس الأوتار والشعور بملمسها فوق كعبك مباشرة)و تر العقب أو وتر أخيل(وعلى الجانب الأمامى من معصمك)أوتار ع ضلات بالماريس لونغوس وفليكسر كاربى رادياليس(.

الطبقة تحت الجلد والجلد. يحتوى الحيز أيضًا على الأعصاب و الأوعية الدموية التى تغذى مجموعة العضلات. يحدث هذا التقسيم فى جدران الصدر والبطن، وقاع الحوض، والأطراف. بعض هذه اللفافات سميكة بشكل خاص وتسمى الحواجز العضلية الداخلية.
الحواجز العضلية الداخلية. الربط المحكم للعضلات بواسطة هذه اللفافات يساهم فى مشكلة سريرية موصوفة فى نظرة أعمق 10.1.



نظرة أعمق 10.1

التطبيق السريرى

متلازمة الحيز

تُحتجز حجيرات العضلات بإحكام شديد داخل اللفافات الخاصة بها. إذا تضرر وعاء دموى داخل الحيز نتيجة الإفراط فى الاستخدام أو الرضّ)إصابة كدمة(، يتراكم الدم وسائل الأنسجة داخل الحيز. تمنع اللفافة غير المرنة الحيز من التوسع لتخفيف ال ضغط. يمكن أن يؤدى الضغط المتزايد على العضلات والأعصاب والأوعية الدموية إلى تحفيز سلسلة من الأحداث التنكسية تُعرف بمتلازمة الحيز. يتم انسداد تدفق الدم إلى الحيز بسبب الضغط على شرايينه. إذا استمر نقص التروية)ضعف تدفق الدم(لأكثر من ساعتين إلى أربع ساعات، تبدأ الأعصاب بالموت، وبعد ست ساعا ت تموت أنسجة العضلات أيضًا. يمكن للأعصاب أن تتجدد بعد تخفيف الضغط، لكن نخر العضلات لا رجعة فيه. يؤدى تحلل العضلات إلى إطلاق الميوغلوبين فى ا لدم. الميوغلوبينوريا، وهى وجود الميوغلوبين فى البول، تعطى البول لونًا داكنًا وتُع د من العلامات الرئيسية لمتلازمة الحيز وبعض اضطرابات العضلات التنكسية الأ خرى. تُعالج متلازمة الحيز بتثبيت الطرف المصاب والراحة، وإذا لزم الأمر، يتم إجرا ء شق جراحى)فاسيكتومى(لتخفيف الضغط.

هناك العديد من الحالات التى يتم فيها عكس النهايات المتحركة وغير المتحركة للعضلة عند أداء حركات مختلفة.
فكر فى الفرق، على سبيل المثال، فى الحركات النسبية لعظم الع ضد وعظم الزند عند ثنى المرفق لرفع الأثقال مقارنة بثنيه لأداء تمرين العقلة أو تسلق جدار. فى رفع الأثقال، يكون الذراع ثابتًا نسبيًا ويؤدى الساعد معظم الحركة، لذا يُعتبر الطرف القريب للعضلة ذات الرأسين هو الأصل والطرف البعيد هو الإدخال. أما فى تمرين العقلة، فيكون ا لساعد أكثر ثباتًا ويتحرك الذراع أكثر لرفع الجسم، لذا إذا تم تعريف الأ صل والإدخال بناءً على الحركة النسبية، فسيتم عكسهما.

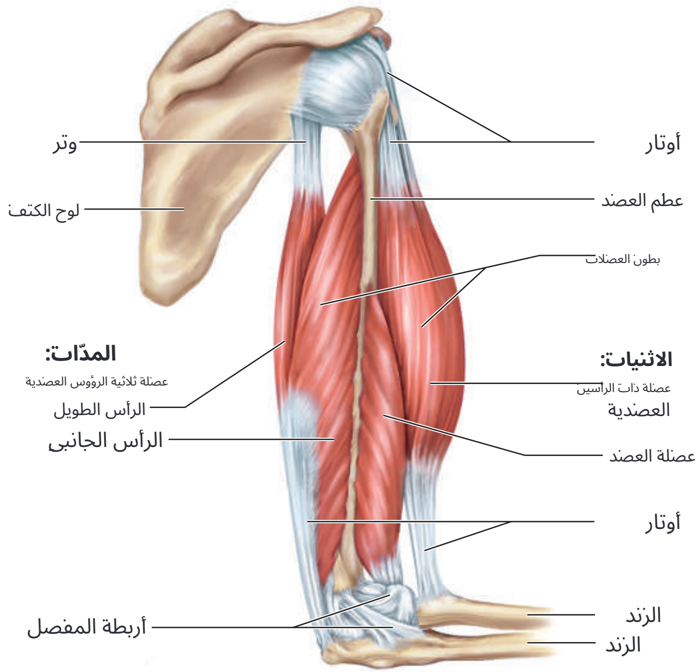
فكر أيضًا فى عضلة رباعية الرؤوس الفخذية على الجانب الأمامى من الفخذ. إنها موسع قوى للركبة، متصلة فى طرفها القريب بشكل ر ئيسى بعظم الفخذ وفى طرفها البعيد بعظم الظنبوب، أسفل الركبة م باشرة. إذا ركلت كرة قدم، يتحرك عظم الظنبوب أكثر من عظم الفخذ، لذا يُعتبر الظنبوب هو الإدخال لعضلة رباعية الرؤوس ويُعتبر الفخذ هو الأصل. ولكن عند الجلوس على كرسى، يتحرك عظم الفخذ أكثر من ا لظنبوب الذى يظل ثابتًا نسبيًا. عندها تعمل عضلة رباعية الرؤوس ك فرامل حتى لا تجلس بسرعة وقوة كبيرة. وفقًا للتعريفات السابقة، يُع تبر الظنبوب الآن هو الأصل لعضلة رباعية الرؤوس ويُعتبر الفخذ هو ا لإدخال.

لذلك، يتحدث بعض الخبراء الآن عن التوصيلات العضلية القري بة والبعيدة، والوسطية والجانبية، أو العلوية والسفلية، لكن لا يوجد نظ ام تسمية واحد ينطبق على الجسم بأكمله.
على الرغم من أن مصطلحات الأصل والإدخال أصبحت قديمة، إ لا أنها قد تظهر فى بعض الدورات، والامتحانات، وأماكن أخرى. لذلك، لكل عضلة فى الجداول من 10.1 إلى 10.16(فى ع•، هناك نقطتان) مود "التوصيلات العظمية". تشير النقطة الأولى إلى ما كان يُسمى تق ليديًا أصل تلك العضلة، والنقطة الثانية إلى إدخالها، مما يتيح لك درا سة التشريح بهذه الطريقة إذا تطلبت دورتك ذلك. وتسمى هذه التو صيلات فى الجداول بالتوصيلات العظمية لأنها تنطبق على معظمها. ومع ذلك، يجب أن تكون على علم بأن بعض هذه العضلات لا تتصل بالعظم بل بالجلد، أو اللفافة، أو أنسجة ضامة ناعمة أخرى.

10.1د مجموعات العضلات الوظيفية

فكر فى اليد البشرية. فهى تتطلب حركة دقيقة ومحكمة لمهام مثل ا لكتابة اليدوية واستخدام لوحة المفاتيح، ولكنها تحتاج أيضًا إلى حركا ت قوية لأفعال مثل التسلق والإمساك بالأدوات بإحكام.
العضلات الكبيرة بما يكفى لتوفير هذه القوة ستكون ضخمة جدًا بحي ث لا يمكن أن تتواجد داخل اليد نفسها، لذا فهى تقع فى الساعد وت تصل بعظام المشط والسلاميات من خلال أوتار طويلة ورفيعة تمر ع بر المعصم. أما الحركات الدقيقة فتتحكم بها عضلات صغيرة تقع بال كامل داخل اليد. أى عضلة تقع بالكامل داخل منطقة معينة تسمى ع ضلة داخلية. والعضلة التى تؤثر على عضو أو منطقة معينة مثل اليد، ولكنها تنشأ من منطقة أخرى مثل الساعد، تسمى عضلة خارجية. ينط بق التمييز بين العضلات الداخلية والخارجية ليس فقط على اليد، بل أ يضًا على عضلات اللسان، والحنجرة، والظهر، والقدم، ومناطق أخرى. ستجد عدة عضلات مصنفة بهذه الطريقة فى جداول هذا الفصل.

التأثير الذى تنتجه العضلة، سواء كان لإحداث حركة أو لمنعها، ى سمى فعلها. نادرًا ما تقوم العضلات الهيكلية



الشكل 10.4 أزواج العضلات المتعاونة والمتضادة. عضلات العضلة ذات الر أسين العضدية والعضلة العضدية هى عضلات متعاونة فى ثنى المرف ق. العضلة ثلاثية الرؤوس العضدية هى عضلة مضادة لهاتين العضلتين و تعتبر المحركة الرئيسية فى تمديد المرفق.

أى من هذه العضلات لها ارتباطات مباشرة بالعظام،
وأيها لها ارتباطات غير مباشرة؟

فى بعض الحالات، يكون الوتر عبارة عن صفيحة عريضة تُسمى ا لأبوينورزيس)aponeurosis( )آب-أوه-نو-روزيس(. كان هذا المصط لح فى الأصل يشير إلى الوتر الموجود تحت فروة الرأس)ومن هنا جذر الكلمة "-neuro"(، لكنه الآن يشير أيضًا إلى أوتار مماثلة مرتبطة ببع ض عضلات البطن، والقطنى، واليد، والقدم. على سبيل المثال، يمر و تر العضلة البالمرية الطويلة عبر المعصم ثم يتوسع ليشكل مروحة تُس مى الأبوينوروزيس البالمرية تحت جلد راحة اليد)انظر الشكل 10.29أ(.

فى بعض الأماكن، تمر مجموعات من أوتار عضلات منفصلة تح ت شريط من النسيج الضام يُسمى الريتيناكولوم. أحد هذه الأشرطة يغ طى كل سطح من أسطح المعصم مثل السوار، على سبيل المثال. تمر أوتار عدة عضلات فى الساعد تحت هذه الأشرطة فى طريقها إلى ا ليد)انظر الأشكال 5.13، 10.29أ(.

الارتباطات المتحركة والثابتة

نظرًا لأن معظم العضلات تمتد عبر مفصل واحد على الأقل وترتبط بع ظم مختلف فى كل طرف، فإن انقباضها يحرك عظمًا واحدًا بالنسبة ل لآخر. تقليديًا، يُطلق على الارتباط فى الطرف الثابت اسم "الأصل" للع ضلة، وعلى الارتباط فى الطرف المتحرك اسم "الإدخال". ومع ذلك، فقد تخلت معظم المصادر الحديثة مثل "تشريح غراى" وغيرها عن م صطلحى "الأصل" و"الإدخال" لأنهما غير دقيقين وأحيانًا مضللين.

[10] *apo* = فوق، أعلاه؛ *neuro* = الجهاز العصبى، الدماغ
[11] *ريتيناك* = مثبت، سوار؛ *كول* = صغير

ومع ذلك، هناك عضلات مثبتة)العضلات المعينية(التى تربط الكتف بالعمود الفقرى)انظر الشكل 10.18(.
تنقبض هذه العضلات فى نفس وقت انقباض العضد الثنائى الرؤوس، مما يثبت الكتف فى مكانه ويضمن أن القوة الناتجة عن العضد الثنائى الرؤوس تحرك عظم الكعبرة بدلاً من الكتف.

10.1e التعصيب والتروية الدموية

لا يمكن للعضلة الهيكلية أن تنقبض إلا إذا تم تحفيزها بواسطة ليف عصبى. إذا تم قطع العصب الخاص بها، تصبح العضلة مشلولة. العصب الذى يغذى عضلة معينة يسمى تعصيبها. معرفة التعصيب لكل عضلة تمكن الأطباء من تشخيص إصابات الأعصاب، الحبل الشوكى، وجذع الدماغ من خلال تأثيراتها على وظيفة العضلات، وتحديد أهداف وافقية لإعادة التأهيل.
سيكون التعصيب الموضح فى هذا الفصل أكثر وضوحاً بعد دراستك للجهاز العصبى الطرفى)الفصول 13 و14(، ولكن سيكون من المفيد هنا تقديم توجيه موجز. العضلات تتعصب بواسطة فروع عصبية تنشأ من هاتين المجموعتين:

- الأعصاب الشوكية تنشأ من الحبل الشوكى، وتخرج من خلال الثقوب بين الفقرات، وتغذى فروعاً للعضلات أسفل الرقبة. تُعرف الأعصاب الشوكية بحروف وأرقام تشير إلى الفقرة المجاورة — على سبيل المثال، T6 للعصب الصدرى السادس وS2 للعصب العجزى الثانى. فور خروجها من الثقب بين الفقرى، يتفرع كل عصب شوكى إلى فرعين: فرع خلفى وفرع أمامى. ستلاحظ إشارات إلى أرقام الأعصاب والفروع فى العديد من جداول العضلات. مصطلح الضفيرة فى بعض الجداول يشير إلى شبكات شبيهة بالويب من الأعصاب الشوكية المجاورة للعمود الفقرى. جميع الأعصاب الشوكية المذكورة هنا موضحة، ومعظمها أيضاً موصوف فى الفصل 13)انظر الجداول 13.3 إلى 13.6(.

- الأعصاب القحفية تنشأ من قاعدة الدماغ، وتخرج من خلال ثقوب الجمجمة، وتعصب عضلات الرأس والرقبة. تُعرف الأعصاب القحفية بالأرقام الرومانية)CN I إلى CN XII(وبالأسماء المذكورة فى الجدول 14.1، على الرغم من أن ليس كل الأثنى عشر تعصب عضلات هيكلية.

الجهاز العضلى يحتاج إلى كمية كبيرة من الطاقة، التى يحصل عليها من ATP، ولذلك يتلقى تدفقاً وفيراً من الدم الذى يحمل الأكسجين والمغذيات العضوية. حتى فى حالة الراحة، يستقبل حوالى ربع كل الدم الذى يضخه القلب، أى حوالى 1.24 لتر/دقيقة.
أثناء التمرين، قد يرتفع نصيبه ليصل إلى ثلاثة أرباع النتاج القلبى، أى حوالى 11.6 لتر/دقيقة. تتفرع الشعيرات الدموية بشكل واسع عبر الغشاء الداخلى للعضلة)الإندوميسيم(لتصل إلى كل ليف عضلى، وأحياناً تكون مرتبطة ارتباطاً وثيقاً بالألياف العضلية بحيث يكون للألياف انبعاجات سطحية لاستيعابها. تتعرج أو تلتف شعيرات العضلات الهيكلية عندما تنقبض العضلة، مما يمنحها مرونة كافية للتمدد بشكل مستقيم دون انقطاع عندما تطول العضلة. يصف الفصل 20 بعض الخصائص الفسيولوجية الخاصة بدورة الدم فى العضلات ويسمى الشرايين الرئيسية التى تغذى مجموعات العضلات الهيكلية.

10.1f أسماء العضلات واستراتيجية التعلم

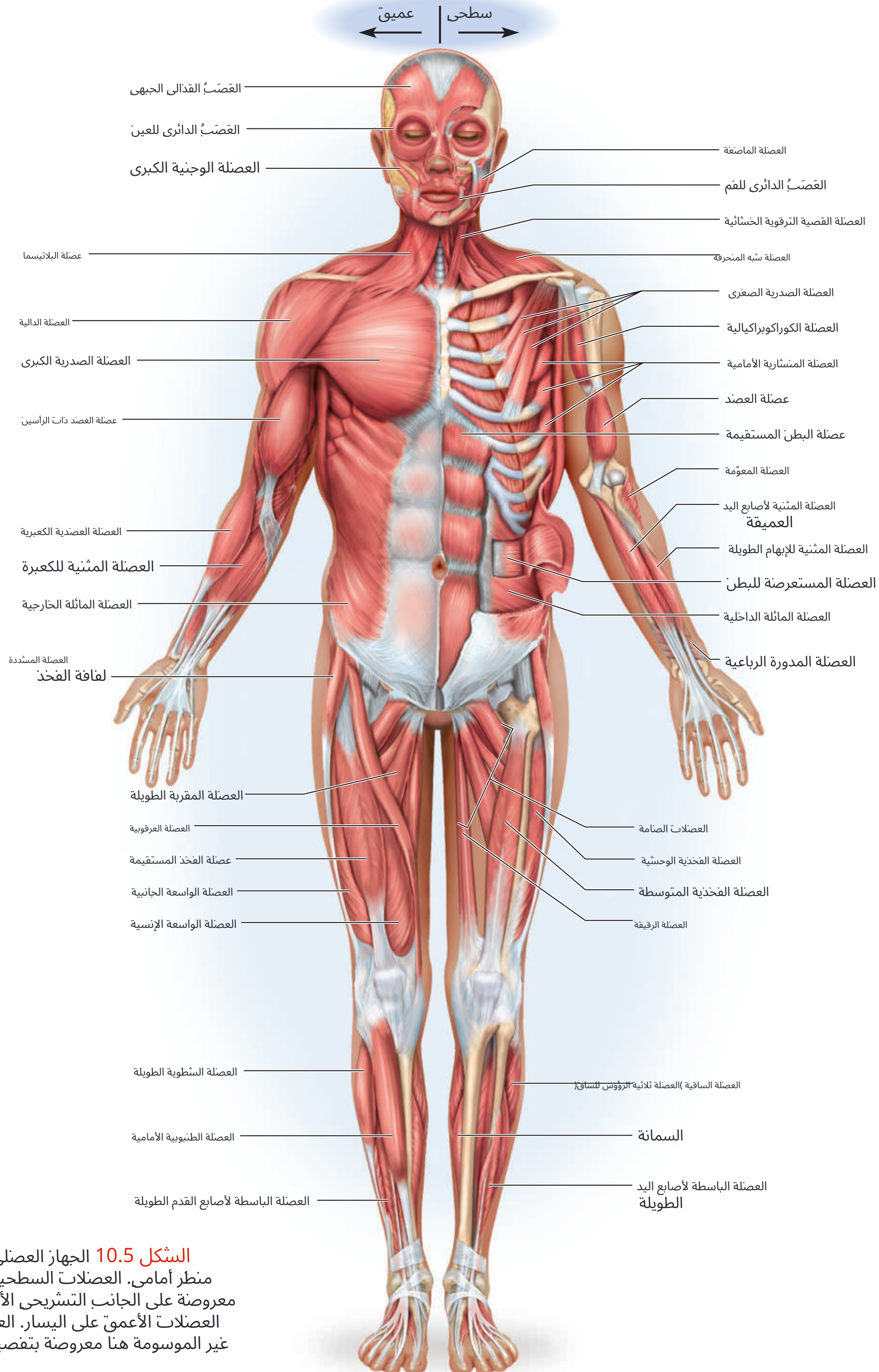
تُظهر الأشكال 10.5 و **10.6** نظرة عامة على العضلات السطحية الرئيسية. قد يبدو تعلم أسماء هذه العضلات وغيرها مهمة شاقة فى البداية، خاصة عندما يكون لبعضها مثل هذا

لا تعمل بشكل مستقل؛ بل تعمل فى مجموعات تُنتج أفعالها المشتركة التحكم المنسق للمفصل. يمكن تصنيف العضلات إلى أربع فئات حسب أفعالها، ولكن يجب التأكيد على أن عضلة معينة يمكن أن تعمل بطريقة معينة أثناء حركة مفصل واحدة وبطريقة مختلفة أثناء حركات أخرى لنفس المفصل. علاوة على ذلك، يعتمد عمل عضلة معينة على ما تفعله العضلات الأخرى. على سبيل المثال، عضلة *gastrocnemius* فى الجزء الخلفى من الساق عادةً تثنى الركبة، ولكن إذا منعت عضلة *quadriceps* فى الفخذ الأمامى ثنى الركبة، فإن gastrocnemius تثنى الكاحل، مما يسبب ثنى أخمصى. الفئات التالية من أفعال العضلات موضحة بعضلات تعمل على الكوع)الشكل 10.4):

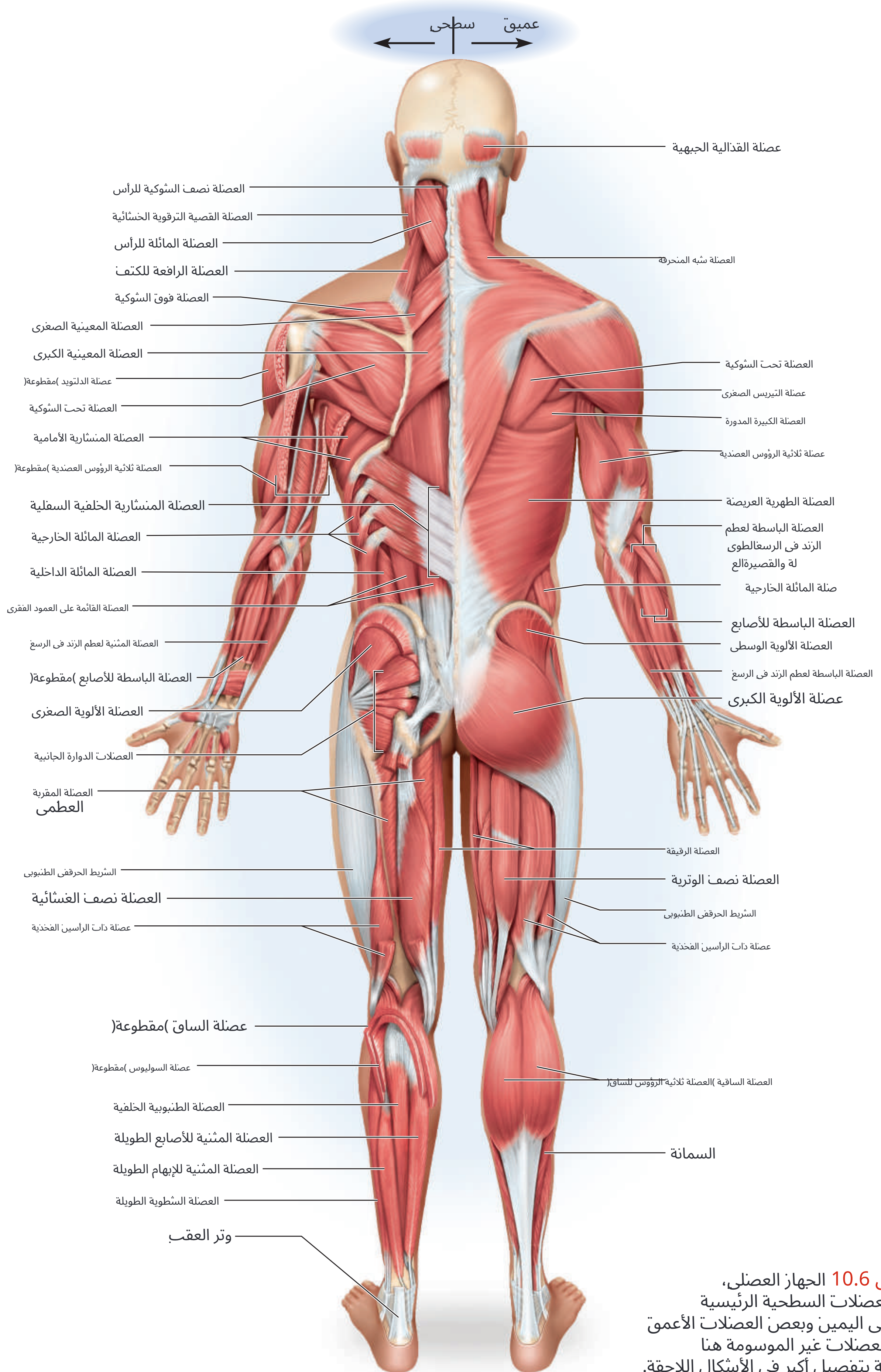
1. العضلة المحركة الرئيسية)المُحَرِّك(هى العضلة التى تنتج معظم القوة أثناء حركة مفصل معينة. على سبيل المثال، فى ثنى الكوع، العضلة المحركة الرئيسية هى العضلة العضدية)brachialis(.
2. العضلة المتآزرة[12])SIN-ur-jist(هى عضلة تساعد المحرك الرئيسى. يمكن لاثنين أو أكثر من العضلات المتآزرة التى تعمل على مفصل أن تنتج قوة أكبر من عضلة واحدة أكبر. على سبيل المثال، العضلة ذات الرأسين العضدية)biceps brachii(تقع فوق العضلة العضدية وتعمل معها كعضلة متآزرة لثنى الكوع. أفعال المحرك الرئيسى وعضلاته المتآزرة ليست بالضرورة متطابقة أو زائدة عن الحاجة.
إذا عمل المحرك الرئيسى بمفرده فى المفصل، فقد يسبب دورانًا أو حركات غير مرغوب فيها للعظم. قد تقوم العضلة المتآزرة بتثبيت المفصل وتقييد هذه الحركات، أو تعديل اتجاه الحركة بحيث يكون عمل المحرك الرئيسى أكثر تنسيقًا وتحديدًا.

3. العضلة المعاكسة[13] هى عضلة تعارض المحرك الرئيسى. فى بعض الحالات، تسترخى لتعطى المحرك الرئيسى سيطرة شبه كاملة على الحركة. ومع ذلك، فى أغلب الأحيان، تحافظ العضلة المعاكسة على بعض التوتر على المفصل وبالتالى تحد من سرعة أو مدى المحرك الرئيسى، مما يمنع الحركة المفرطة أو إصابة المفصل أو الأفعال غير المناسبة. على سبيل المثال، إذا مدت ذراعك للوصول ورفع كوب شاى، فإن العضلة ثلاثية الرؤوس العضدية)triceps brachii(تعمل كمحرك رئيسى لتمديد الكوع، وتعمل العضلة العضدية)brachialis(كعضلة معاكسة لإبطاء التمديد وإيقافه عند النقطة المناسبة. ولكن إذا مدت ذراعك بسرعة لرمى سهم، يجب أن تكون العضلة العضدية مسترخية إلى حد كبير. تمثل العضلة العضدية والعضلة ثلاثية الرؤوس زوجًا معارضًا من العضلات التى تعمل على جانبى المفصل. نحتاج إلى أزواج معارضة فى المفصل لأن العضلة يمكنها فقط السحب، وليس الدفع — على سبيل المثال، لا يمكن لعضلة واحدة أن تثنى وتمدد الكوع. العضو الذى يعمل كمحرك رئيسى يعتمد على الحركة المعنية. فى ثنى الكوع، العضلة العضدية هى المحرك الرئيسى والعضلة ثلاثية الرؤوس هى المعاكسة؛ وعندما يتم تمديد الكوع، تنعكس أدوارهما.
4. العضلة المثبتة هى عضلة تمنع العظم من الحركة. تثبيت العظم يعنى تثبيته بثبات، مما يسمح لعضلة أخرى متصلة به بالسحب على شىء آخر. على سبيل المثال، فكر مرة أخرى فى ثنى الكوع بواسطة العضلة ذات الرأسين العضدية)biceps brachii(. تنشأ العضلة ذات الرأسين من الكتف، وتعبر مفصلى الكتف والكوع، وتلتحم بعظم الكعبرة واللفافة فى الساعد.
الكتف مربوط بشكل غير محكم بالهيكل المحورى، لذلك عندما ينقبض العضد الثنائى الرؤوس)البيسبس(، يبدو أنه سيشد الكتف جانبياً.

---
[12] *syn* = معًا؛ *erg* = عمل
[13] *ant* = ضد؛ *agonist* = فاعل، منافس



الشكل 10.5 الجهاز العضلى، منظر أمامى. العضلات السطحية الرئيسية معروضة على الجانب التشريحى الأيمن وبعض العضلات الأعمق على اليسار. العضلات غير الموسومة هنا معروضة بتفصيل أكبر فى الأشكال اللاحقة.



الشكل 10.6 الجهاز العضلى، منظر خلفى. العضلات السطحية الرئيسية معروضة على اليمين وبعض العضلات الأعمق على اليسار. العضلات غير الموسومة هنا معروضة بتفصيل أكبر فى الأشكال اللاحقة.

عضلات الرأس والرقبة

10.2

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. تسمية وتحديد مواقع العضلات التى تُنتج تعبيرات الوجه؛

ب. تسمية وتحديد مواقع العضلات المستخدمة فى المضغ و البلع؛

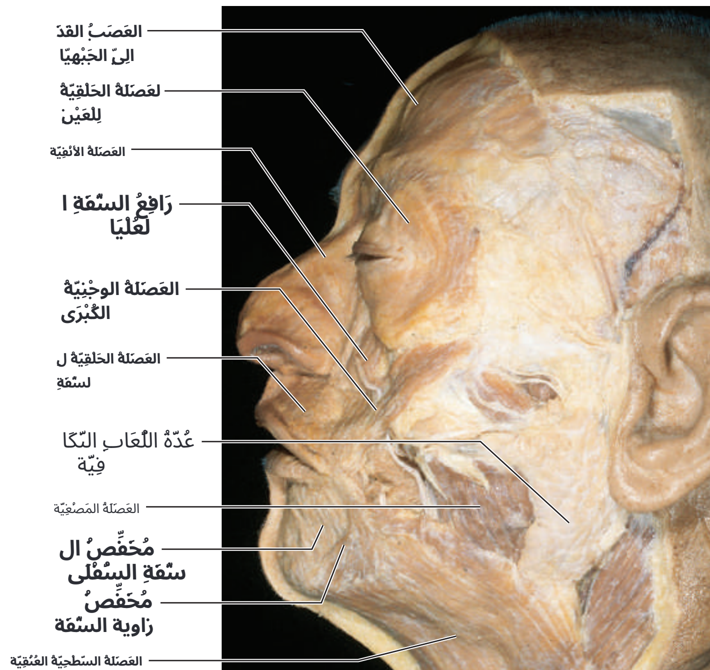
ج. تسمية وتحديد عضلات الرقبة التى تحرك الرأس؛ و

د. تحديد مواضع التثبيت، والحركات، والتعصيب لهذه العضلات.

يتكون بقية هذا الفصل إلى حد كبير من جداول العضلات الهيكلية الر أيسية فى الجسم. ستجد وصفًا ورسومًا توضيحية لكل مجموعة عض لية، مع بعض التعميمات والنقاط ذات الاهتمام الخاص حول المجمو عة، ثم جدولًا يقدم التفاصيل:

- اسم كل عضلة فى تلك المجموعة؛
- نطق الاسم، ما لم يكن واضحًا بذاته أو يكرر كلمات تم تقديم نطقها فى مدخل حديث؛
- حركات العضلة؛
- مواضع تثبيت العضلة على العظام أو الأنسجة الرخوة؛ و
- الإمداد العصبى لتلك العضلة.

نبدأ استعراضنا للجهاز العضلى بالرأس والرقبة)الشكل 10.7(. تقسم الأقسام الثلاثة الأولى هذه إلى عضلات تعبير الوجه، وعضلات ا لمضغ والبلع، وعضلات تحرك الرأس ككل.



الشكل 10.7 بعض عضلات الوجه للجثة. التسميات بالخط العريض تشير إلى العضلات المستخدمة فى تعابير الوجه.

ريبيكا غراى/ماكجرو هيل

أسماء لاتينية طويلة مثل *depressor labii inferioris* و*flexor digiti minimi brevis.* ومع ذلك، عادةً ما تصف هذه الأسماء بعض الجوا نب المميزة للهيكل أو الموقع أو حركة العضلة، وتصبح مفيدة جدًا بم جرد أن نعتاد على بعض الكلمات اللاتينية الشائعة. على سبيل المثال ، depressor labii inferioris هى عضلة تخفض)تُخفض(ا لشفة السفلية)labium( )inferior(. وflexor digiti minimi brevi s هى عضلة قصيرة)brevis(تثنى)flexes(أصغر)mini mi(إصبع)digit(. تُفسر أسماء العضلات فى الحواشى طوال الفصل. ستساعدك الألفة مع هذه المصطلحات والانتباه إلى ال حواشى على ترجمة أسماء العضلات وتذكر موقعها ومطهرها وحركتها.

فى بقية هذا الفصل، ندرس حوالى 160 عضلة؛ تغطى معظم الدورات عددًا أقل بكثير حسب اختيارات المدرسين الفرديين. قد تساعدك الاقتراحات التالية على تطوير استراتيجية منطقية لتعلم الجهاز العضلى:

- افحص النماذج، الجثث، الحيوانات المقطعة، أو أطلسًا تصو يريًا أثناء قراءتك عن هذه العضلات. الصور البصرية غالبًا ما تكون أسهل فى التذكر من الكلمات، والملاحظة المباشرة لعضلة قد تبقى فى ذاكرتك أفضل من النصوص الوصفية أو الرسوما ت ثنائية الأبعاد.
- عند دراسة عضلة معينة، قم بتحسسها على نفسك إذا أمكن. قم بتقلص العضلة لتشعر بانتفاخها وتحس بحركتها. هذا يجعل مواقع العضلات وحركاتها أقل تجريدًا. يُظهر الأطلس ب، الذى يلى هذا الفصل، أماكن رؤية وتحسس ا لعديد من هذه العضلات على الجسم الحى.
- حدد مواضع ارتباط العضلات على هيكل عظمى مفصل. بعض الهياكل العظمية والنماذج مطلية وموسّحة لتوضيح هذه المواضع. يساعدك هذا على تصور مواقع العضلات وفهم كيفي ة إنتاجها لحركات المفاصل المحددة.
- ادرس أصل كل اسم عضلة؛ فالاسم عادة ما يصف موقع العضل ة، مطهرها، ارتباطاتها، أو حركاتها.
- قل الأسماء بصوت عالٍ لنفسك أو لشريك دراستك. من ا لأصعب تذكر وتهجئة المصطلحات التى لا تستطيع نطقها، و النطق الصامت ليس فعالًا مثل التحدث وسماع الأسماء. تُقدم أدلة النطق بناءً على القواميس الطبية الرائدة فى جداول الع ضلات التالية لجميع الحالات باستثناء الأكثر وضوحًا.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

1. اذكر بعض وظائف الجهاز العضلى بخلاف حركة الجسم.
2. وصف العلاقة بين الإندوميسيم، البيريميسيم، والإبيميسيم. أى م نها يفصل بين حزيمات العضلات؟ وأى منها يفصل بين عضلة وأخر ى؟
3. تمييز بين التوصيلات العضلية المباشرة وغير المباشرة إلى العظام.
4. تعريف البطن، الحركة، والتعصيب.
5. وصف الأشكال العضلية الأساسية الخمسة)ترتيبات الحزم العضلية(.
6. تمييز بين المتعاون، المعاكس، والمثبت. شرح كيف يمكن لكل منهم أن يؤثر على حركة المحرك الرئيسى.

فروة الرأس

عضلة القذالية الجبهية)occipitofrontalis(تغطى قبة الجمجمة. وهى مقسمة إلى *بطن جبهية)frontal belly(* فى الجبهة و *بطن قذالية)occipital belly(* فى مؤخرة الرأس)الشكل 10.9(، مسماة نسبةً إلى العظام القحفية التى تحتها. وهما متصلتان ببعضهما بواسطة غشاء عريض يسمى الغشاء القحفى)galea aponeurotica([14])جاليا أبونيروتيكا(.

المناطق المدارية والأنفية

عضلة المدور حول العين)orbicularis oculi(هى مصرة للجفن تحيط وتغلق العين. تحتها مباشرة، فى الجفن والحجاج، توجد رافع الجفن العلوى)levator palpebrae superioris(، التى تفتح العين. عضلات أخرى فى هذه المجموعة تحرك الجفون وجلد الجبهة وتوسع المنخرين. العضلات داخل الحجاج التى تحرك كرة العين نفسها تُناقش فيما يتعلق بالرؤية فى الفصل 16.

[14] *جاليا* = خوذة؛ *أبو* = فوق؛ *نيورو* = الجهاز العصبى، الدماغ

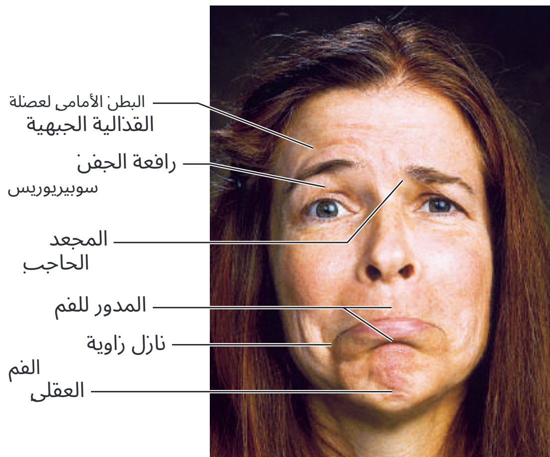
10.2أ عضلات تعبير الوجه

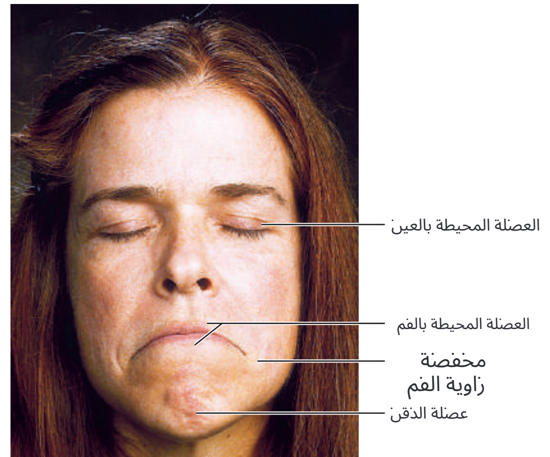
لدى البشر وجوه أكثر تعبيرًا بكثير من الثدييات الأخرى بسبب مجموعة معقدة من العضلات التى تلتصق بالأدمة والأنسجة تحت الجلد. هذه العضلات تشد الجلد وتنتج تعبيرات مثل ابتسامة لطيفة، غمزة مغرية، عبوس مرتبك، أو عبوس مهدد)الشكل 10.8(. تضيف ظلالًا دقيقة من المعنى إلى كلماتنا المنطوقة. عضلات الوجه تساهم أيضًا مباشرة فى الكلام والمضغ ووظائف فموية أخرى. جميعها ما عدا واحدة تُعصب بواسطة العصب الوجهى)العصب القحفى السابع(. هذا العصب حساس بشكل خاص للإصابات الناتجة عن الجروح وكسور الجمجمة، والتى يمكن أن تشلّ العضلات وتتسبب فى ترهل أجزاء من الوجه. العضلة الوحيدة غير المعصبة بواسطة العصب القحفى السابع هى رافع الجفن العلوى)levator palpebrae superioris(للجفن العلوى، والتى يعصبها العصب المحرك للعين)العصب القحفى الثالث(.

الجدول 10.1 يصنف هذه العضلات إلى المناطق التالية: فروة الرأس؛ المناطق المدارية والأنفية)العين والأنف(؛ المنطقة الفموية)حول الفم(؛ والمناطق الذقنية والخدية)الذقن والخدين(.









الشكل 10.8 التعبيرات التى تنتجها عدة عضلات وجهية. الأفعال العادية لهذه العضلات عادة ما تكون أكثر دقة من هذه العروض.

سمِّ معارضًا لكل من هذه العضلات: النازل لزاوية الفم)depressor anguli oris(، المدور حول العين)orbicularis oculi(، ورافع الشفة العليا)levator labii superioris(.

الكل: جو ديغرانديس / كين سالادين

الشكل 10.9 عضلات تعبير الوجه.
)أ(منظر أمامى.)ب(منظر جانبى. تشير التسميات بالخط العريض إلى العضلات المستخدمة فى تع APR بيرات الوجه.

عميق
سطحى

غاليا أبونيروتيكا
البطن الجبهى
لعضلة القذالى الجبهى
كوروجاتور سوبرسيلى
العضلة المحيطة بالعين
العَضَلَة الأنْفِيّة
رَافِعُ الشَّفَةِ العُليَا
رافعة زاوية الفم
زيغوماتيكوس مينور
العَضَلَة المَضْغِيّة
العضلة الوجنية الكبرى
بوكيناتور
ريزوريوس
موديولوس
أوربيكيولاريس أوريس
ديبريسور أنغولى
أوريس
مينتاليس)مقطوع(
ديبريسور لابى
إنفيريوريس
بلاتيسما

)أ(منظر أمامى

غاليا أبونيروتيكا
البطن الجبهى
لعضلة القذالى الجبهى
كوروجاتور سوبرسيلى
العضلة الصدغية
العضلة المحيطة بالعين
البطن القذالى لـ
العَضَلَة القذاليّة الجَبْهيّة
العَضَلَة الأنْفِيّة
رافعة الشفة العليا
القوس الوجنى
الوجنى الصغير
الوجنى الكبير
العضلة المحيطة بالفم
العضلة الماضغة
موديولوس
العضلة القصية الترقوية الخشائية
ريزوريوس)مقطوع(
العضلة الرافعة للكتف
العقلى
البلعومى السفلى المُضيّق
ديبريسور لابى
إنفيريوريس
الغدة الدرقية اللامية
العضلة الستيرنوثيرويدية
مخفض زاوية الفم
العضلة الأوموهيويدية
الخدّى
القص اللامى

)ب(منظر جانبى

المنطقة الذقنية والوجنية

بالقرب من فتحة الفم توجد *المنطقة الذقنية*)الذقن(و *المنطقة الوجنية*)الخد(. بالإضافة إلى العضلات التى تم مناقشتها سابقًا والتى تؤثر على الشفة السفلى، تحتوى المنطقة الذقنية على زوج من عضلات ا لمتاليس الصغيرة التى تمتد من الحافة العلوية للفك السفلى إلى ح لد الذقن. فى بعض الأشخاص، تكون هذه العضلات سميكة بشكل خا ص ولها غمازة مرئية بينهما تُسمى *الشق الذقنى*. أما العضلة الخدّية)البوسيناتور(فهى عضلة الخد. لها وظائف متعددة فى المضغ، والش فط، والنفخ. إذا تم نفخ الخدين بالهواء، فإن ضغط عضلات البوسينا تور يدفع الهواء للخارج. يتحقق الشفط عن طريق انقباض عضلات ال بوسيناتور لسحب الخدين إلى الداخل، ثم إرخائهما. هذا الفعل مهم ب شكل خاص فى رضاعة الأطفال.
لتحسس هذا الفعل، ضع أطراف أصابعك برفق على خديك أثناء إصدا ر صوت تقبيل. ستلاحظ حركة عضلات البوسيناتور فى اللحظة التى يُ سحب فيها الهواء بقوة من خلال الشفاه المضمومة. العضلة الصدرى ة العريضة)البلاتيسما(هى عضلة رقيقة سطحية فى الجزء العلوى من الصدر والجزء السفلى من الوجه. هى عضلة غير مهمة نسبيًا، لكنها ق د تساعد فى خفض الفك السفلى لفتح الفم. كما تسحب زوايا الفم إل ى الأسفل فى تعبيرات الدهشة الشديدة أو الرعب.

المنطقة الفموية

الفم هو الجزء الأكثر تعبيرًا فى الوجه، وحركات الشفاه ضرورية للكلام ا لمفهوم؛ لذلك، ليس من المستغرب أن تكون العضلات هنا متنوعة بشكل خاص. العضلة المحيطة بالفم هى مجموعة معقدة من العضلا ت فى الشفاه تحيط بالفم؛ حتى وقت قريب، كان يُساء تفسيرها على أنها مصرة، أو عضلة دائرية، لكنها فى الواقع تتكون من أربعة أرباع م ستقلة تتشابك وتعطى فقط مظهر الدائرية.

تقترب عضلات أخرى فى هذه المنطقة من الشفاه من جميع الاتجاها ت وبالتالى تسحب الشفاه أو زوايا)أركان(الفم إلى الأعلى، جانبيًا، وإ لى الأسفل. تنشأ بعض هذه العضلات من حبل معقد يُسمى الموديو لوس[15] الواقع جانبًا لكل زاوية من زوايا الشفاه)الشكل 10.9ب(. سُم ى الموديولوس نسبة إلى محور عجلة العربة، وهو نقطة التقاء لعدة ع ضلات فى الجزء السفلى من الوجه. يمكنك الإحساس به عن طريق إد خال إصبع واحد داخل زاوية شفتيك وثم قرص الزاوية بين الإصبع والإ بهام، لتشعر بعقدة سميكة من النسيج.

الجدول 10.1	عضلات تعبيرات الوجه		
التعصيب	**المرفقات العظمية**	**الفعل**	**الاسم**
			فروة الرأس
العصب الوجهى	• غاليا أبونيروتيكا • الأنسجة تحت الجلد للحواجب	يرفع الحاجبين عند النظر للأعلى وتعبيرات المفاجأة أو الخوف؛ يسحب فروة الرأس للأمام ويجعد جلد الجبهة	العضلة القذالية الجبهية، البطن الجبهى)أوك-سيب-إس-اى-بى-آى-تو-فرون-تاى-ليس(
العصب الوجهى	• الخط القذالى العلوى وعظم الصدغ • غاليا أبونيروتيكا	يسحب فروة الرأس للخلف؛ يثبت غاليا أبونيروتيكا حتى ى تمكن البطن الأمامى من العمل على الحاجبين	عضلة أوكسيبيتوفيرونتاليس، البطن القذالى
			المناطق المدارية والأنفية
العصب الوجهى	• العطم الدمعى؛ المناطق المجاورة للعظم الجبهى والفك العلوى؛ الزاوية الوسطى للجفون • الجفون العلوية والسفلية؛ الجلد حول حافة المحجر	مصرة للجفون؛ تغلق العين عند الرمش، وا لتحديق، والنوم؛ تساعد فى تدفق الدموع عبر الع ين	عضلة محيطية للعين[16])أور-بيك-يو-لير-إيس أوك-يو-لاى(
العصب المحرك للعين	• الجناح الأصغر للعظم الوتدى فى الجدار الخلفى للمحجر • الجفن العلوى	ترفع الجفن العلوى؛ تفتح العين	رافعة الجفن العلوى[17])ليه-فاى-تور بال-بى-رى سو-بير-يور-إيس(
العصب الوجهى	• النهاية الوسطى لحافة فوق المحجر • جلد الحاجب	يسحب الحاجبين نحو الوسط والأسفل عند العبوس والتركيز؛ يقلل من وهج ضوء الشمس الساطع	مُجعد الحاجب[18])كور-و-جاى-تور سو-بر-سيل-آى(
العصب الوجهى	• الفك العلوى بجانب الأنف مباشرة • جسر وأنسجة غضاريف الأجنحة الأنفية	يوسع فتحتى الأنف؛ يضيق الممر الهوائى الداخلى بين المدخل والتجويف الأنفى	الأنفى[19])ناى-زاى-ليس(
			المنطقة الفموية
العصب الوجهى	• مركز الفم)موديولوس(• الطبقة تحت المخاطية والأدمة فى الشفاه	تحيط بالفم، تغلق الشفاه، تدفع الشفاه إلى الأمام كما فى التقبيل؛ مطورة بشكل فريد لدى البشر للنطق	عضلة المحيط بالفم[20])أور-بيك-يو-لير-يس أور-يس(

)متابعة(

[15] *موديولوس*= المحور
[16] *أورب*= دائرة؛ *أوكول*= عين
[17] *رافعة*= ما يرفع؛ *جفن*= جفن العين؛ *علوى*= أعلى
[18] تجعيد= تجعد؛ *حاجب العين*= الحاجب
[19] *أنفى*= متعلق بالأنف
[20] *orb*= دائرة؛ *oris*= الفم

الجدول 10.1 عضلات تعبير الوجه)تابع(

التعصيب	المرفقات العظمية	الفعل	الاسم
المنطقة الفموية)متابعة(			
العصب الوجهى	• عظم الوجنة والفك العلوى بالقرب من الهامشُ السفلى للحجاج • عضلات الشفة العلوية	يرفع ويُخرج الشفة العلوية فى التعبيرات الحزينة، المحتقرة، أو الجدية	رافع الشفة العلوية[21])ليه-فاى-تور لاى-بى-آى سو-بير-يور-يس(
العصب الوجهى	• الفك العلوى أسفل الثقب تحت الحجاج مباشرة • عضلات عند زاوية الفم	يرفع زاوية الفم كما فى الابتسامة	رافع زاوية الفم[22])ليه-فاى-تور أن-جيو-لاى أور-يس(
العصب الوجهى	• العظم الوجنى • الزاوية العلوية الجانبية للفم	تسحب زاوية الفم إلى الأعلى وإلى الجانب عند الضحك	العضلة الوجنية[23] الكبرى)زى-جو-مات-يك-وس(
العصب الوجهى	• العظم الوجنى • عضلات الشفة العليا	يرفع الشفة العليا؛ يكشف الأسنان العلوية عند الابتسام أو الاستهزاء	زيغوماتيكوس مينور
العصب الوجهى	• القوس الوجنى؛ اللفافة قرب الأذن • الموديولوس	تسحب زاوية الفم جانبياً فى تعبيرات الضحك، الرعب، أو الازدراء	العضلة الضاحكة[24])رى-سور-ى-وس(
العصب الوجهى	• الهامشُ السفلى لجسم الفك السفلى • الموديولوس	يسحب زاوية الفم جانبياً وإلى الأسفل عند فتح ا لفم أو فى تعابير الحزن	العضلة النازلة لزاوية الفم[25]
العصب الوجهى	• الفك السفلى قرب النتوء الذقنى • جلد وغشاء مخاطى للشفة السفلى	يسحب الشفة السفلى إلى الأسفل والجانب أثناء الم ضغ وفى تعابير الحزن أو الشك	مخفض الشفة السفلى[26]
المنطقة الذقنية والوجنية			
العصب الوجهى	• الفك السفلى قرب القواطع السفلية • جلد الذقن عند النتوء الذقنى	يرفع ويدفع الشفة السفلى إلى الأمام أثناء الشرب، والتجهم، وتعابير الشك أو الاحتقار؛ يرفع ويجعد جلد الذقن	العضلة الذقنية)من-تاى-ليس(
العصب الوجهى	• النتوءات السنخية على الأسطح الجانبية لل فك السفلى والفك العلوى • عضلة المحيطية للفم؛ تحت المخاطية للخد والشفاه	تضغط الخد ضد الأسنان واللثة؛ توجه الطعام بين الأضراس؛ تسحب الخد بعيداً عن الأسنان عند إغلاق الفم لمنع عض الخد؛ تطرد الهواء والسوا ئل من الفم	العضلة الخدّية[27])بوك-سين-آى-تور(
العصب الوجهى	• اللفافة للعضلة الدالية والعضلة الصدرية ال كبرىالفك السفلى؛ الجلد والأنسجة تحت ا لجلد للوجه السفلى	تسحب الشفة السفلى وزاوية الفم إلى الأسفل فى تعبيرات الرعب أو المفاجأة؛ قد تساعد فى فتح الفم على نطاق واسع؛ تشد جلد الذقن والر قبة	عضلة الرقبة[28])بلاه-تيز-مو(

الجدول 10.2 يصف *العضلات الخارجية* التى تربط اللسان بهياكل أخرى فى الرأس)الشكل 10.10(.

عضلات المضغ

أربعة أزواج من العضلات تنتج حركات العض والقطع للذقن السفلى: العضلة الصدغية، العضلة الماضغة، وزوجان من عضلات الجناح)ال شكل 10.11(. تشمل أفعالها خفض الذقن لفتح الفم لاستقبال الطعا م، والرفع لقطع قطعة من الطعام أو سحقها بين الأسنان؛ التقدم بحي ث تلتقى القواطع لقطع قطعة من الطعام؛ التراجع لسحب القواطع ال سفلية خلف العلوية وجعل الأسنان الخلفية)الأضراس قبل الأخيرة وا لأضراس(تلتقى؛ والحركات الجانبية والوسطية، وهى الحركات الجان بية التى تطحن الطعام بين الأسنان الخلفية)انظر الشكل 9.20(.

10.2b عضلات المضغ والبلع

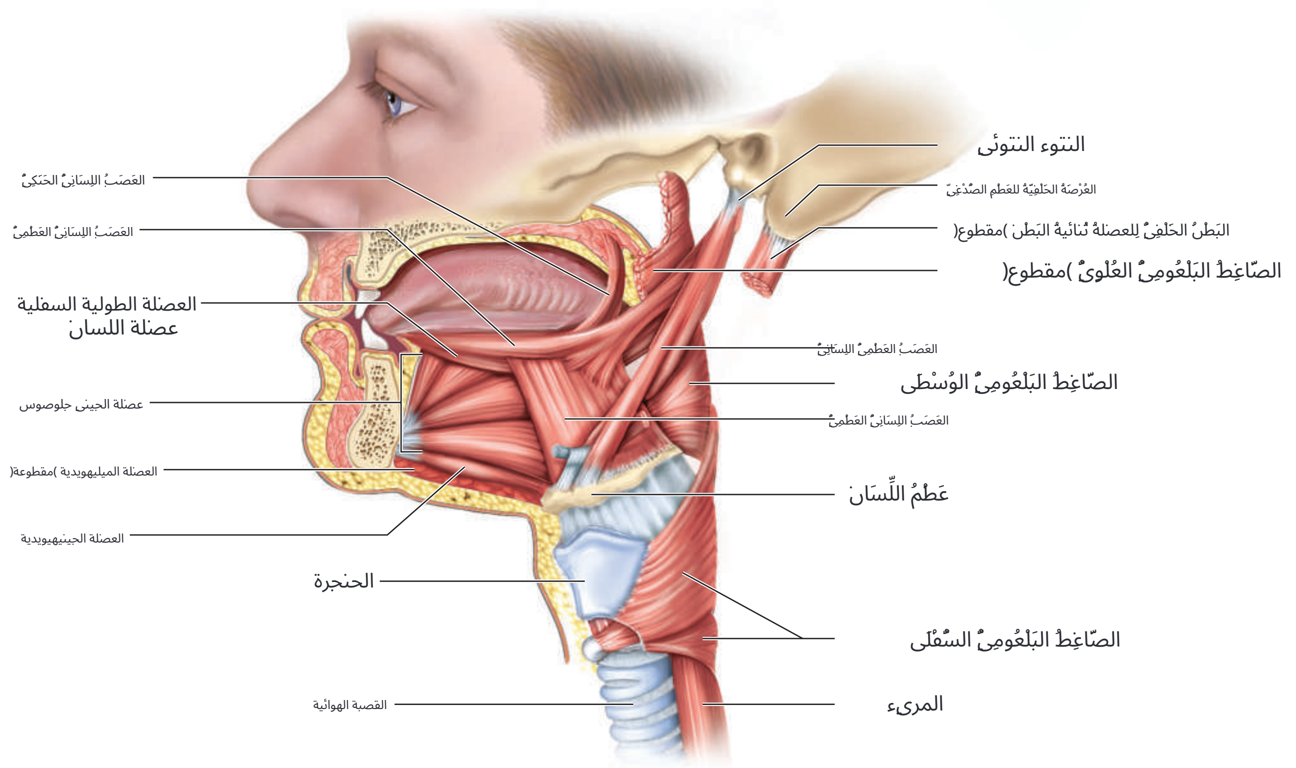
العضلات فى هذا القسم تهتم بشكل أساسى ب التعامل مع الطعام، بما فى ذلك حركات اللسان، والمضغ، والبلع.

عضلات اللسان

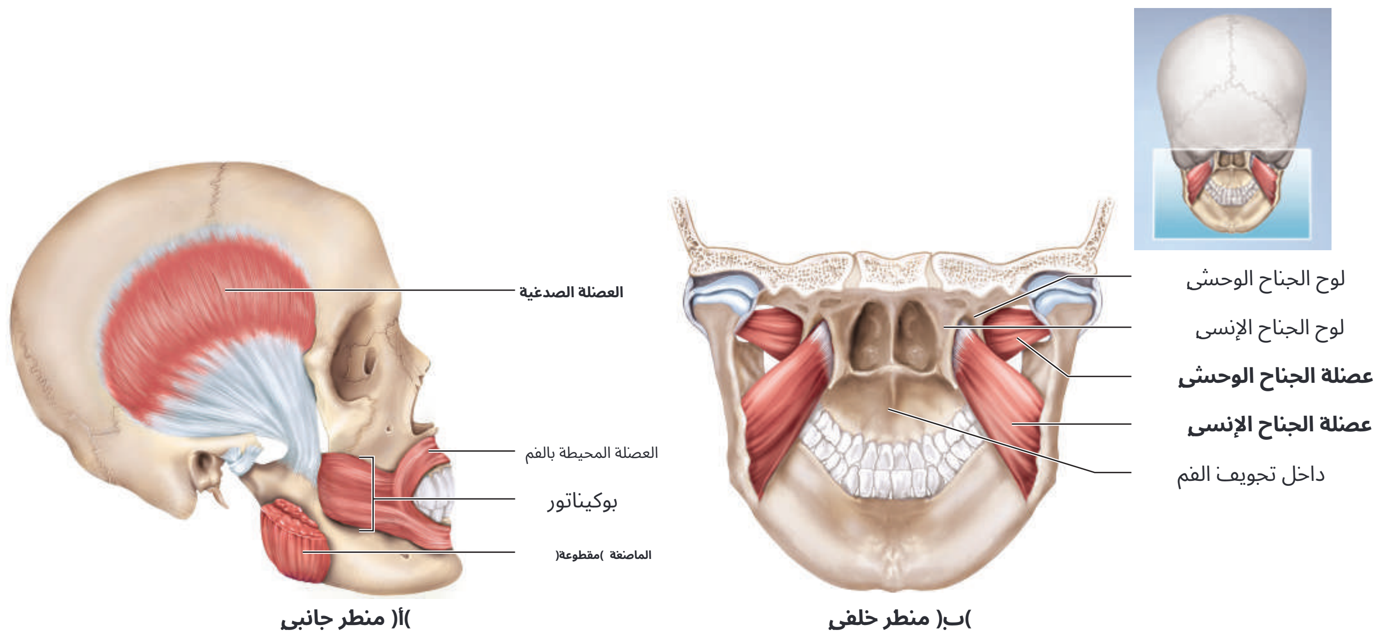
اللسان عضو رشيق جداً. يدفع الطعام بين الأضراس للمضغ ثم يدفعه لاحقاً إلى البلعوم للبلع. وهو أيضاً، بالطبع، ضرورى لنطق الكلام. الع ضلات الداخلية والخارجية مسؤولة عن حركاته المعقدة. العضلات الدا خلية تتكون من عدد متغير من الحزم العمودية التى تمتد من الجانب العلوى إلى السفلى للسان، وحزم عرضية تمتد من اليسار إلى اليمين، وحزم طولية تمتد من الأمام إلى الخلف)انظر الأشكال 10.1c، 25.5b).

[21] رفع = أن يرفع؛ *شفة* = الشفة؛ *علوى* = أعلى
[22] *زاوية* = زاوية، ركن؛ *فم* = الفم
[23] *وجنى* = يربط، يوحد)يشير إلى العظم الوجنى(
[24] مبتسم = الضحك

[25] خفض = أن يخفض؛ *زاوية* = زاوية، ركن؛ *فم* = الفم
[26] *labi* = الشفة؛ *inferior* = السفلى
[27] *buccinator* = عازف البوق
[28] *platy* = مسطح



الشكل 10.10 عضلات اللسان والبلعوم.

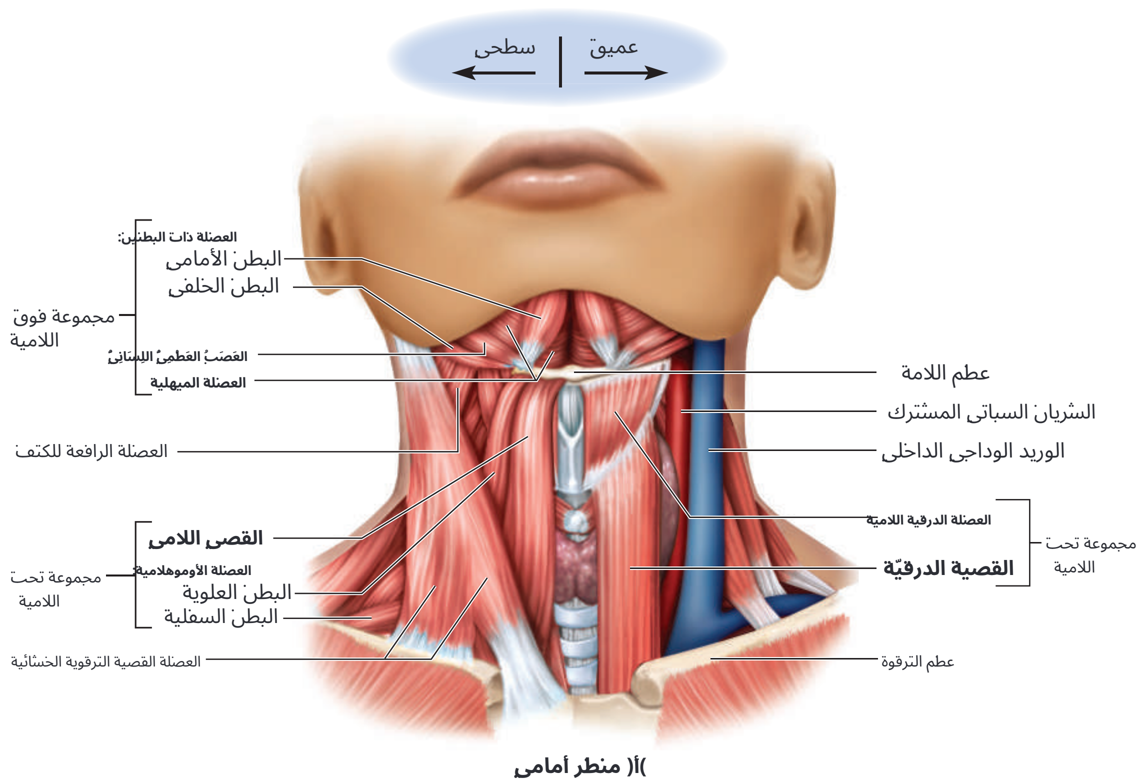


الشكل 10.11 عضلات المضغ. تشير التسميات بالخط العريض إلى العضلات التى تؤثر على الفك السفلى فى حركات المضغ.)أ(منظر جانبى أيمن. لكشف موضع إدخال عضلة الصدغ على الفك السفلى، تم إزالة جزء من القوس الوجنى وعضلة الماضغة.)ب(منظر عضلات الجناح من داخل تجويف الفم من خلف الجمجمة.

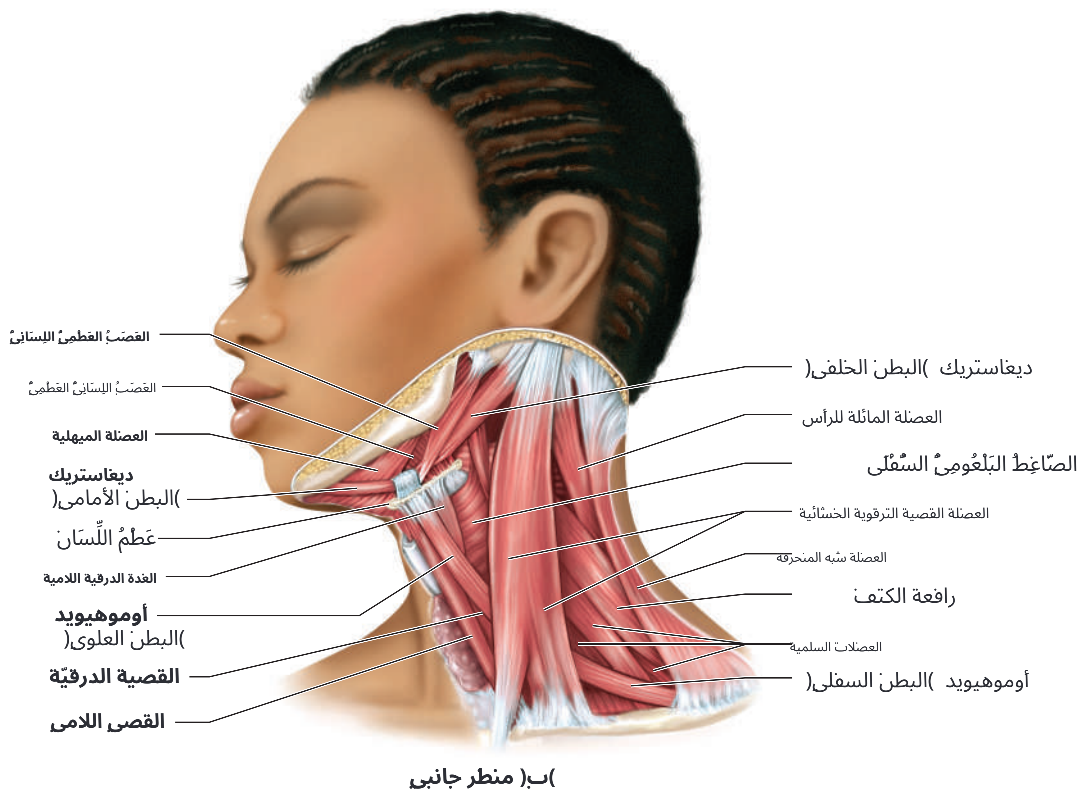
العضلة ذات البطنين هى عضلة غير عادية سُميت بذلك بسبب بطنَيها. البطن الخلفى ينشأ من النتوء الخشائى فى الجمجمة ويميل إلى الأسفل والأمام. البطن الأمامى ينشأ من أخدود يسمى حفرة العضلة ذات البطنين على السطح الداخلى لجسم الفك السفلى. يميل إلى الأسفل والخلف. يلتقى البطنان عند تضيق يسمى الوتر الوسيط. هذا

عضلات فوق العطم اللامى

العطم اللامى، كما تتذكر، هو عطم رفيع على شكل حرف U تحت الذقن)انظر الشكل 8.17(. ثمانية أزواج من عضلات اللامى المرتبطة بهذا العطم تساعد فى المضغ والبلع والكلام
)الشكل 10.12(. أربعة منها، مجموعة فوق العطم اللامى، تقع فوق العطم اللامى — وهى العضلة ذات البطنين، الجينيهيويد، الميلوهيود، والستيلوهيويد.



أ) منظر أمامى



ب) منظر جانبى

الشكل 10.12 عضلات الرقبة. (أ) منظر أمامى. (ب) منظر جانبى. تشير التسميات بالخط العريض إلى عضلات المجموعتين فوق اللامية وتحت اللامية. توجد عضلة أخرى من مجموعة فوق اللامية، وهى الجينيوهيويد، تقع عميقًا تحت المايلوهويد ويمكن رؤيتها فى الشكل 10.10. APR

الكتف، تمر تحت عضلة القصية الترقوية الخشائية، ثم تصعد إلى عظم اللامي. مثل العضلة ذات البطنين، لها بطنان—علوي وسفلي. العضلةالدرقية اللامية، المسماة نسبة إلى عظم اللامي والغضروف الدرقي الكبير على شكل درع في الحنجرة، تساعد في منع الاختناق. ترفع الحنجرة أثناء البلع بحيث يتم إغلاق فتحتها العلوية بواسطة شريحة من النسيج، وهي لسان المزمار. يمكنك أن تشعر بهذا التأثير بوضع طرف إصبعك على "تفاحة آدم")البروز الأمامي للغضروف الدرقي(وشعور بحركتها صعودًا أثناء البلع.

تُعتبر العضلات تحت اللامية أيضًا عضلات خارجية للحنجرة، لأنها تؤثر عليها من الخارج. العضلات الداخلية للحنجرة موصوفة فيما يتعلق بالتنفس والكلام في الفصل 22. الحلقة العنقية *ansa cervicalis*[29] في الجدول 10.2 هي حلقة

يمر الوتر عبر حلقة من النسيج الضام، الحزام اللفافي، المتصل بعظم اللامي. لذلك، عندما ينقبض بطنا العضلة ذات البطنين، فإنهما يرفعان عظم اللامي؛ ولكن إذا تم تثبيت عظم اللامي من الأسفل، فإن العضلة ذات البطنين تساعد في فتح الفم على نطاق واسع. ومع ذلك، فإن العضلات الجناحية الجانبية أكثر أهمية في فتح الفم، حيث تدخل العضلة ذات البطنين في العمل فقط عند الفتح الشديد، كما في التثاؤب أو أخذ قضمة كبيرة من التفاحة.

العضلات تحت اللامية

العضلاتتحت *اللامية*تقع أسفل عظم اللامي. من خلال تثبيت عظم اللامي من الأسفل، تمكن العضلات فوق اللامية من فتح الفم. العضلة الأمومية اللاميةغير عادية لأنها تنشأ من

الجدول 10.2	عضلات المضغ والبلع		
الاسم	الفعل	المرفقات العظمية	التعصيب
العضلات الخارجية للسان			
عضلة الجينيوغلوسوس[30] (JEE-nee-oh-GLOSS-us)	الفعل الأحادي الجانب يسحب اللسان إلى جانب واحد؛ الفعل الثنائي الجانب يخفض منتصف اللسان أو يدفع اللسان إلى الأمام	• النتوء الذقني العلوي على السطح الخلفي للناتئ الذقنيالسطح السفلي للسان من الجذر إلى القمة •	العصب تحت اللسان
عضلة تحت اللسان[31])هاي-أوه-غلوس-أس(	تخفض اللسان	• جسم القرن الأكبر لعظم اللامة • السطوح الجانبية والسفلية للسان	العصب تحت اللسان
عضلة النتوء اللساني[32])ستي-لو-غلوس-أس(	ترفع اللسان إلى الأعلى والخلف	• النتوء الصدغي والرباط من النتوء إلى الفك السفلي • السطح العلوي الجانبي للسان	العصب تحت اللسان
عضلة الحنك اللساني[33])بال-أت-و-غلوس-أس(	ترفع جذر اللسان وتغلق التجويف الفموي عن البلعوم؛ تشكل القوس الحنكي اللساني في مؤخرة التجويف الفموي	• الحنك الرخو • السطح الجانبي للسان	الأعصاب الإضافية والعصب المبهم
عضلات المضغ			
العضلة الصدغية[34])تيم-بو-راي-ليس(	رفع، سحب إلى الخلف، والحركة الجانبية والوسطى للفك السفلي	• خطوط الصدغ والحفرة الصدغية في الجمجمة • النتوء الزاوي والحد الأمامي لفرع الفك السفلي	العصب الثلاثي التوائم
العضلة الماضغة[35])ما-سي-تور(	رفع الفك السفلي، مع أدوار أصغر في الدفع إلى الأمام، السحب إلى الخلف، والحركة الجانبية والوسطى	• القوس الوجني • السطح الجانبي لذراع الفك السفلي والزاوية	العصب الثلاثي التوائم
العضلة الجناحية الإنسية[36])تير-إيه-غويد(	رفع، تقدم، وحركة جانبية ووسطى للفك السفلي	• السطح الإنساني للوحة الجناحية الجانبية؛ العطم الحنكي؛ السطح الجانبيللماكسيل قرب الأسنان الطاحنة • السطح الإنساني لذراع الفك السفلي والزاوية	العصب الثلاثي التوائم
العضلة الجناحية الجانبية	خفض)في فتح الفم على نطاق واسع(، تقدم، وحركة جانبية ووسطى للفك السفلي	• الأسطح الجانبية للوحة الجناحية الجانبية؛ الجناح الأكبر للعطم الوتديعنق الفك)أسفل اللقمة مباشرة(؛ القرص المفصلي وكبسولةمفصل الفك الصدغي •	العصب الثلاثي التوائم

)متابعة(

[29] *أنسا* = مقبض؛ *سيرفيك* = رقبة؛ *أليس* = من، تابع لـ
[30] *جينو* = ذقن؛ *غلوس* = لسان
[31] *هيو* = عظم اللامي؛ *غلوس* = لسان
[32] *ستيلو* = النتوء النتوئي؛ *غلوس* = لسان
[33] *بالاتو* = الحنك؛ *غلوس* = لسان
[34] *تمبوراليس* = من منطقة الصدغ في الرأس
[35] *ماسيت* = مضغ
[36] *تيريج* = جناح؛ *أويد* = يشبه)يشير إلى صفيحة الجناح لعظم الوتدي(

الجدول 10.2 عضلات المضغ والبلع)تابع(

التعصيب	المرفقات العظمية	الفعل	الاسم
عضلات فوق العظم اللامى			
البطن الخلفى: العصب ا لوجهى البطن الأمامى: العصب الثلاثى التوائم	• الشق الخشائى لعظم الصدغى؛ حفرة العضلة ذات البطنين للفك السفلى • العظم اللامى عبر حزام اللفافة	يخفض الفك السفلى عندما يكون العظم اللامى ثابتًا؛ يفتح الفم على نطاق واسع، كما عند تناول الطعام أو التثاؤب؛ يرفع العظم اللامى عندما يكون الفك ثابتًا	ديجاستريك[37]
العصب الشوكى C1 عبر العصب تحت اللسانى	• النتوء الذقنى السفلى للفك السفلى • العظم اللامى	يخفض الفك السفلى عندما يكون العظم اللامى ثابتًا؛ يرفع ويقدم العظم اللامى عندما يكون الفك ثابتًا	جينيوهيويد[38])جينيو-هيويد(
العصب الثلاثى التوائم	• خط الميليوهيويد بالقرب من الحافة السفلية • عطم اللامى	يمتد عبر الفك من جانب إلى آخر و يشكل أرضية الفم؛ يرفع أرضية الفم فى المرحلة الأولية من البلع	مايلوهويد[39]
العصب الوجهى	• النتوء النتوئى للعظم الصدغى • العظم اللامى	يرفع ويُرجع العظم اللامى، مُطيلًا أرضية الفم؛ الأدوار فى الكلام والمضغ والبلع لم تُفهم بوضوح بعد	العَصَبُ القَطمِيُّ اللِسَانِيُّ
العضلات تحت اللامية			
أنسا سيرفيكاليس	• الحافة العلوية للكتف • العظم اللامى	يخفض العظم اللامى بعد أن يرتفع	أوموهيويد[40]
أنسا سيرفيكاليس	• مقبض عظم القص؛ الطرف الوسيط للعظم الترقوى • العظم اللامى	يخفض العظم اللامى بعد أن يرتفع	ستيرنوهيويمد[41]
العصب الشوكى C1 عبر العصب تحت اللسانى	• غضروف الغدة الدرقية للحنجرة • العظم اللامى	يخفض العظم اللامى؛ مع تثبيت العظم اللامى، يرفع الحنجرة كما فى الغناء بالنغمات العالية	الثيروهايد[42]
أنسا سيرفيكاليس	• مقبض عظم القص؛ غضروف الأضلاع • غضروف الغدة الدرقية للحنجرة	يخفض الحنجرة بعد أن يتم رفعه ا أثناء البلع والنطق؛ يساعد فى الغناء بالنغمات المنخفضة	القصبة الدرقيّة
عضلات البلعوم			
العصب اللسانى البلعومى والعصب المبهم	• لوح الجناح الإنسى؛ الفك السفلى؛ العظم ال لامى؛ الرباط اللامى القذالى؛ غضاريف الحنج رةالوصلة الخلفية الإنسيّة للبلعوم؛ ال • جزء القاعدى من عظم القذالى	أثناء البلع، تنقبض بالترتيب من العلوية إ لى الوسطى إلى السفلية لدفع الطعام إلى ا لمرىء	الضواغط البلعومية العلوية والو سطى والسفلية

10.2ح العضلات المؤثرة على الرأس والرقبة

تنشأ العضلات التى تحرك الرأس من العمود الفقرى، القفص الصدرى، والحزام الصدرى وتنتهى على عظام الجمجمة)الجدول 10.3(. تشمل حركاتهم الانثناء)إمالة الرأس إلى الأمام(، الامتدا د)إبقاء الرأس منتصبًا(، الامتداد المفرط)كما فى النظر إلى الأعلى(، الا نثناء الجانبى)إمالة الرأس إلى جانب واحد(، والدوران)تدوير الرأس للنظ ر إلى اليسار أو اليمين(. تشمل حركات الانثناء والامتداد والامتداد المفر ط عملًا متزامنًا لعضلات الجانب الأيمن والأيسر من الزوج؛ أما الحركات الأخرى فتتطلب انقباض العضلة فى جانب واحد بقوة أكبر من نظيرتها.

العصب على جانب الرقبة الذى يعصب ثلاثة من عضلات تحت اللام ية؛ يتكون من ألياف عصبية معينة من الأعصاب العنقية 1 إلى 3)ان ظر الشكل 13.15(.

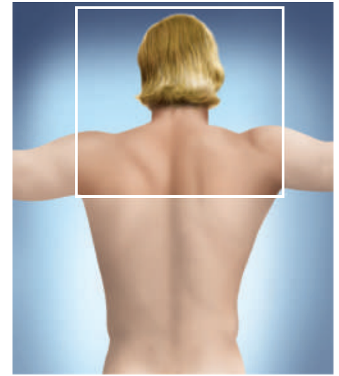
عضلات البلعوم

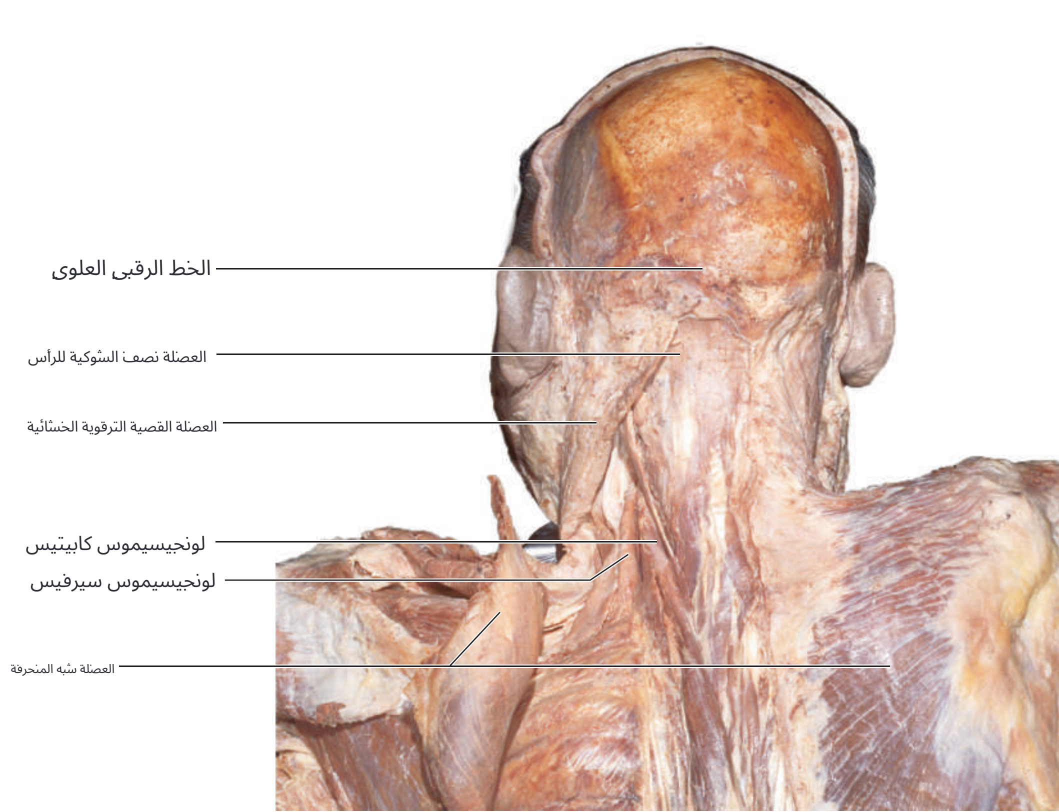
ثلاثة أزواج من عضلات ضاغطة للبلعوم تحيط بالبلعوم من الجوانب ا لخلفية والجانبية، مكونة قمعًا عضليًا)انظر الشكل 10.10(. أثناء البلع، تدفع الطعام من البلعوم إلى المرىء.

---

[37] di = اثنان؛ gastr = بطون
[38] جينيو = الذقن
[39] ميلو = الطاحونة، الضرس

[40] أومو = الكتف
[41] ستيرنو = الصدر، عظم القص
[42] ثيرو = الدرع، غضروف الغدة الدرقية





الشكل 10.13 عضلات الكتف ومنطقة الرقبة الخلفية فى الجثة.

ريبيكا غراى / دون كينكيد / ماكجرو هيل

ممددات الرقبة

تقع العضلات الباسطة بشكل رئيسى فى منطقة الرقبة الخلفية)خلف العنق؛ الشكل 10.13(ولذلك تميل إلى إبقاء الرأس منتصبًا أو سح به إلى الخلف. العضلة الترابيزية هى الأكبر والأكثر سطحية من بين ه ذه العضلات. تمتد من منطقة الرقبة الخلفية فوق الكتفين وحتى من تصف الظهر. سُميت بهذا الاسم لأن العضلتين الترابيزيتين اليمنى وا ليسرى معًا تشكلان شكلًا ماسيًا أو شبه منحرف)انظر الشكل 10.6(. ا لعضلة *السبلينية* هى عضلة أعمق وأطول، لها مناطق سبلينيوس كا بيتيس و سبلينيوس سيرفيس فى الرأس والرقبة على التوالى. يُطل ق عليها لقب "عضلة الضماد" بسبب الطريقة التى تلف بها العضلا ت الأعمق فى الرقبة. واحدة من تلك العضلات الأعمق هى *السيمى سبيناليس*، وهى عضلة أخرى طويلة ذات مناطق فى الرأس والرقبة وا لصدر. فقط السيميسبيناليس كابيتيس و سيرفيس مدرجة هنا؛ أما *السيميسبيناليس ثوراكيس* فلا تؤثر على الرقبة، لكنها مدرجة فى ال جدول 10.6.

طبق ما تعرفه

من بين العضلات التى درستها حتى الآن، اذكر ثلاث عضلات تع تبرها عضلات داخلية للرأس وثلاث عضلات تصنفها كعضلات خا رجية. اشرح سبب تصنيفك لكل منها.

ينتج العديد من حركات الرأس عن مزيج من هذه الحركات — على س بيل المثال، النظر إلى الأعلى فوق الكتف يتضمن مزيجًا من الدوران و الامتداد المفرط.

اعتمادًا على ارتباطاتها العظمية، قد تسبب العضلة حركة *معاك سة* للرأس)نحو الجانب المقابل، كما عند انقباض عضلة على اليسار تدير الوجه نحو اليمين(أو حركة *متماثلة*)نحو نفس جانب العضلة، كم ا عند انقباض عضلة على اليسار تميل الرأس إلى اليسار(.

مثنو الرقبة

المحرك الرئيسى لانثناء الرقبة هو العضلة القصية الترقوية الخشائية، وهى حبل عضلى سميك يمتد من الجزء العلوى من الصدر)القص وا لترقوة(إلى النتوء الخشائى خلف الأذن)الشكل 10.12(. يُرى هذا بوضوح عندما يتم تدوير الرأس إلى جانب واحد ويمتد قليلاً. لتصور عمل عضلة القصية الترقوية الخشائية المفردة، ضع إصبع الس بابة ليدك اليسرى على النتوء الخشائى الأيسر، وإصبع السبابة ليدك ا ليمنى على الشق فوق القصى. الآن انقبض عضلة القصية الترقوية ال خشائية اليسرى لتقريب طرفى إصبعيك قدر الإمكان. سترى أن هذا يميل وجهك إلى الأعلى وإلى اليمين.

العضلات الثلاث السقالينية[43] على جانب الرقبة سُميت بهذا الا سم بسبب ترتيبها الذى يشبه السلم. حركاتها متشابهة لذا تُعتبر مج تمعة فى الجدول.

[43] scal = سلم

الجدول 10.3	العضلات المؤثرة على الرأس والرقبة		
الاسم	**الفعل**	**المرفقات العظمية**	**التعصيب**
مثنو الرقبة			
العضلة القصية الترقوية الخشائية[44] (STIR-no-CLY-do-MAST-oyd)	الفعل الأحادى الجانب يميل بالرأس قليلاً إلى الأعلى وإلى الجانب المقابل، كما عند النظر فوق الكتف المقابل. الفعل الأكثر شيوعًا هو على الأرجح تدوير الرأس إلى اليسار أو اليمين. الفعل الثنائى الجانب يسحب الرأس إلى الأمام والأسفل مباشرة، كما عند الأكل أو القراءة. يساعد فى التنفس العميق عندما يكون الرأس ثابتًا.	• مقبض عظم القص؛ الثلث الوسيط من الترقوة • النتوء الخشائى؛ النصف الجانبى من الخط القذالى العلوى	العصب الإضافى؛ الأعصاب الشوكية C2–C4
العضلات السقالينية الأمامية والوسطى والخلفية (SCAY-leens)	الانقباض الأحادى الجانب يسبب انثناء فى نفس الجانب أو دوران فى الجانب المقابل (يميل الرأس نحو نفس الكتف، أو يدير الوجه بعيدًا)، اعتمادًا على فعل العضلات الأخرى. الانقباض الثنائى الجانب ينثنى الرقبة. إذا كان العمود الفقرى ثابتًا، ترفع العضلات السقالينية الضلوع 1–2 وتساعد فى التنفس.	• النواتئ العرضية لجميع فقرات الرقبة (C1–C7) • الضلوع 1–2	الفروع الأمامية للأعصاب الشوكية C3–C8
ممددات الرقبة			
العضلة شبه المنحرفة[45] (ترا-بى-زى-أوس)	تمتد وتثنى الرقبة جانبياً. انظر أيضاً الأدوار فى حركة الكتف فى الجدول 10.8.	• الناتئ القذالى الخارجى؛ الثلث الوسيط من الخط القذالى العلوى؛ الرباط القذالى؛ المسامات الشوكية للفقرات C7–T12 • الأكروميوم وشوكة الكتف؛ الثلث الجانبى من الترقوة	العصب الإضافى
العضلة المنشارية الرأسية[46] والعضلة المنشارية العنقية[47] (سبلى-نى-أوس كاب-إيه-تيس، سير-فى-سيس)	عند العمل من جانب واحد، تُحدث انثناءً فى نفس الجانب ودورانًا طفيفًا للرأس؛ وتمتد الرأس عند العمل من الجانبين	• النصف السفلى من الرباط القذالى؛ المسامات الشوكية للفقرات C7–T6 • الناتئ الخشائى وعظم القذالى أسفل الخط القذالى العلوى مباشرةً؛ فقرات الرقبة C1–C2 أو C3	الفروع الخلفية لأعصاب الرقبة الوسطى
عضلة نصف الشوكية للرأس وعضلة نصف الشوكية للرقبة (SEM-ee-spy-NAY-lis)	مد الرأس ودوّره عكسياً	• المسارات المفصلية للفقرات C4–C7؛ المسارات العرضية T1–T6 • عظم القذالى بين خطوط العنق المسارات الشوكية للفقرات C2–C5	الفروع الخلفية لأعصاب العنق والصدر

BEFORE YOU GO ON

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

7. اذكر عضلتين ترفّعان الشفة العليا وعضلتين تخفضان الشفة السفلى.
8. اذكر العضلات الأربعة المزدوجة للمضغ وبيّن مكان ارتباطها على الفك السفلى.
9. ميّز بين وظائف عضلات فوق العظم اللامى وعضلات تحت العظم اللامى.
10. أدرج عضلات تمديد وثنى الرقبة.

10.3 عضلات الجذع

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. تسمية وتحديد مواقع عضلات التنفس وشرح كيفية تأثيرها على تدفق الهواء وضغط البطن؛

ب. تسمية وتحديد مواقع عضلات جدار البطن، الظهر، وأرضية الحوض؛ و

ج. تحديد المرفقات العظمية، الحركة، والتعصيب لهذه العضلات.

فى هذا القسم، سنستعرض عضلات جذع الجسم فى أربع مجموعات وظيفية تتعلق بالتنفس، دعم جدار البطن، حركة العمود الفقرى، ودعم أرضية الحوض. فى الرسوم التوضيحية، ستلاحظ بعض العضلات الرئيسية التى لا تُناقش فى الجداول المرتبطة — على سبيل المثال، العضلة الصدرية الكبرى والعضلة المنشارية الأمامية.

على الرغم من أنها *تقع فى* الجذع، إلا أنها *تؤثر على* الأطراف وأحزمة الأطراف، ويتم مناقشتها بشكل أوسع فى الأقسام 10.4 و10.5.

[44] *ستيرنو* = الصدر، عظم القص؛ *كليدو* = المطرقة، الترقوة؛ *ماستو* = شبيه بالثدى، النتوء الخشائى
[45] *ترابيز* = طاولة، شبه المنحرف
[46] *سبلينياس* = ضمادة؛ *كابيتيس* = الرأس
[47] *سيرفيكس* = الرقبة

تختلف العضلات الوربية الأعمق في العدد، حيث قد تكون غائبة أحيانًا من القفص الصدري العلوي. تسير أليافها في نفس اتجاه العضلات الوربية الداخلية، ويُفترض أنها تؤدي نفس الوظيفة. تفصل العضلات الوربية الداخلية والأعمق طبقة من اللفافة التي تسمح بمرور الأعصاب والأوعية الدموية الوربية)انظر الشكل 13.14ب(.

الوظيفة الأساسية للعضلات الوربية هي تقوية القفص الصدري أثناء التنفس حتى لا ينهار إلى الداخل عندما ينخفض الحجاب الحاجز. ومع ذلك، فهي تساهم أيضًا في توسيع وانقباض القفص الصدري وبالتالي تزيد من حجم الهواء الذي يهوّى الرئتين.

تساهم العديد من عضلات الصدر والبطن الأخرى بشكل كبير في عملية التنفس: عضلة القصبة الترقوية الخشائية وعضلات السكالين في الرقبة؛ العضلة الصدرية الكبرى والعضلة المنشارية الأمامية في الصدر؛ عضلة الظهر العريضة في أسفل الظهر؛ العضلات المائلة الداخلية والخارجية وعضلة البطن العرضية؛ وحتى بعض عضلات الشرج. تم وصف الأفعال التنفسية لجميع هذه العضلات في القسم 22.2أ.

طبق ما تعرفه

أثناء إجراء جراحة صدرية شاب مقيم في الجراحة عملية لسرطان المريء، قطع عن طريق الخطأ العصب الحجابي الأيسر للمريض. توقع تأثير هذا الحادث على تنفس المريض.

طبق ما تعرفه

كارل وكارلا يستمتعان بصحن من أضلاع مشوية. ما هي العضلات التي يأكلونها؟ ما هي الغشاء الليفي الصلب بين اللحم والعظم؟

10.3أ عضلات التنفس

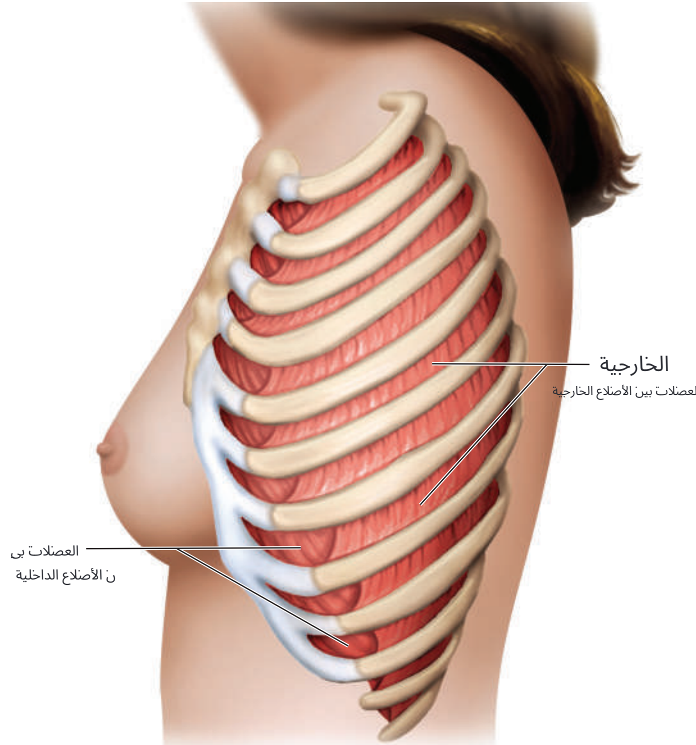
نحن نتنفس أساسًا بواسطة العضلات التي تحيط بالتجويف الصدري — الحجاب الحاجز، العضلات بين الأضلاع الخارجية، العضلات بين الأضلاع الداخلية، وأعمق العضلات بين الأضلاع)الشكل 10.14؛ الجدول 10.4(.

الحجاب الحاجز هو قبة عضلية بين التجويف الصدري والتجويف البطني، تبرز إلى الأعلى ضد قاعدة الرئتين. يحتوي على فتحات لمرور المريء، والأوعية الدموية الرئيسية، والأوعية اللمفاوية، والأعصاب بين التجويفين. تتقارب أليافه من الحواف نحو وتر مركزي ليفي.

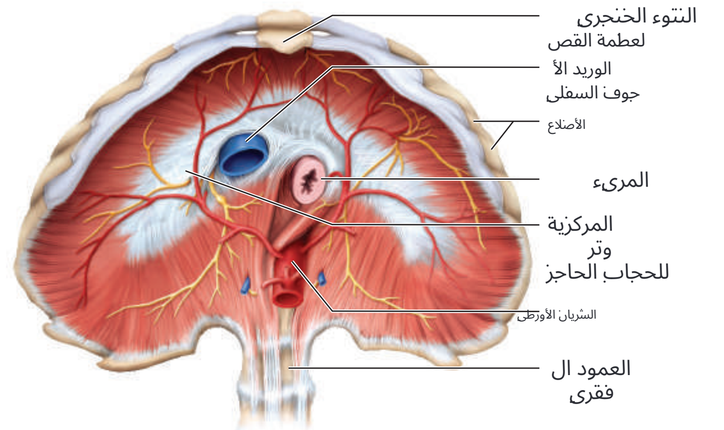
عندما ينقبض الحجاب الحاجز، يصبح مسطحًا قليلاً ويكبر التجويف الصدري، مما يسبب دخول الهواء)الشهيق(؛ وعندما يرتاح، يرتفع ويقلص التجويف الصدري، مما يدفع الهواء للخارج)الزفير(.

ثلاث طبقات من العضلات تقع بين الأضلاع: العضلات الوربية الخارجية، الداخلية، والداخلية الأعمق. تشكل 11 زوجًا من العضلات الوربية الخارجية الطبقة السطحية الأكثر سطحًا. تمتد من نتوء الضلع خلفيًا تقريبًا إلى بداية الغضروف الضلعي أماميًا. كل واحدة تميل لأسفل وأمامًا من ضلع إلى الضلع السفلي التالي.

تقع 11 زوجًا من العضلات الوربية الداخلية أعمق من العضلات الوربية الخارجية وتمتد من حافة عظم القص إلى زوايا الأضلاع. تكون أكثر سمكًا في المنطقة بين الغضاريف الضلعية وتصبح أرق في المنطقة التي تتداخل فيها مع العضلات الوربية الخارجية. تميل أليافها لأسفل وخلفًا من كل ضلع إلى الضلع الذي تحته، بزاوية تقارب الزاوية القائمة مع العضلات الوربية الخارجية. كل واحدة مقسمة إلى جزء *بين الغضاريف* بين الغضاريف الضلعية وجزء *بين العظام* بين الجزء العظمي من الأضلاع. الجزآن يختلفان في أدوارهما التنفسية.



)أ(منظر جانبي لعضلات بين الأضلاع



)ب(منظر سفلي للحجاب الحاجز

APR الشكل 10.14 عضلات التنفس.)أ(منظر جانبي لعضلات بين الأضلاع.)ب(منظر سفلي للحجاب الحاجز.

الجدول 10.4 عضلات التنفس

التعصيب	المرفقات العظمية	الفعل	الاسم
الأعصاب الحجابيّة	• النتوء السيفى لعظم القص؛ الأضلاع والغضاريف الضلعية 7–12؛ الفقرات القطنية • وتر الحجاب الحاجز المركزى	المحرك الرئيسى للشهيق (مسؤول عن حوالى ثلثى كمية الهواء المستنشقة)؛ ينقبض تحضيرًا لعطس، سعال، بكاء، ضحك، ورفع الأثقال؛ يؤدى الانقباض إلى ضغط الأحشاء البطنية ويُساعد فى الولادة وطرد البول والبراز.	الحجاب الحاجز[48] (داى-أف-رام)
الأعصاب الوربية	• الحواف السفلية للأضلاع 1–11 • الحافة العلوية للضلع التالى الأسفل	عندما تثبت عضلات السكالين الضلع 1، ترفع العضلات الوربية الخارجية وتدفع الأضلاع 2–12 إلى الأمام، موسعةً التجويف الصدرى ومُحدثةً فراغًا جزئيًا يؤدى إلى تدفق الهواء؛ تؤدى دور الكبح أثناء الزفير حتى لا يكون الزفير مفاجئًا جدًا.	العضلات الوربية الخارجية[49] (إن-تور-كوس-تولز)
الأعصاب الوربية	• الحواف العلوية والغضاريف الضلعية للأضلاع من ٢ إلى ٢١؛ حافة عظم القص • الحافة السفلية للضلع الأعلى التالى	أثناء الشهيق، يساعد الجزء بين الغضاريف فى رفع الأضلاع وتوسيع تجويف الصدر؛ أما فى الزفير، فيقوم الجزء بين العظام بخفض وسحب الأضلاع، مما يضغط على تجويف الصدر ويطرد الهواء؛ ويحدث هذا الأخير فقط فى الزفير القسرى، وليس فى التنفس الهادئ.	العضلات الوربية الداخلية
الأعصاب الوربية	• السطح العلوى الوسيط للأضلاع من ٢ إلى ٢١؛ قد تكون غائبة فى الأضلاع العلوية • الحافة الوسطية لمجرى الضلع الأعلى التالى	من المفترض أن لها نفس عمل العضلات بين الأضلاع الداخلية	العضلات بين الأضلاع الأعمق

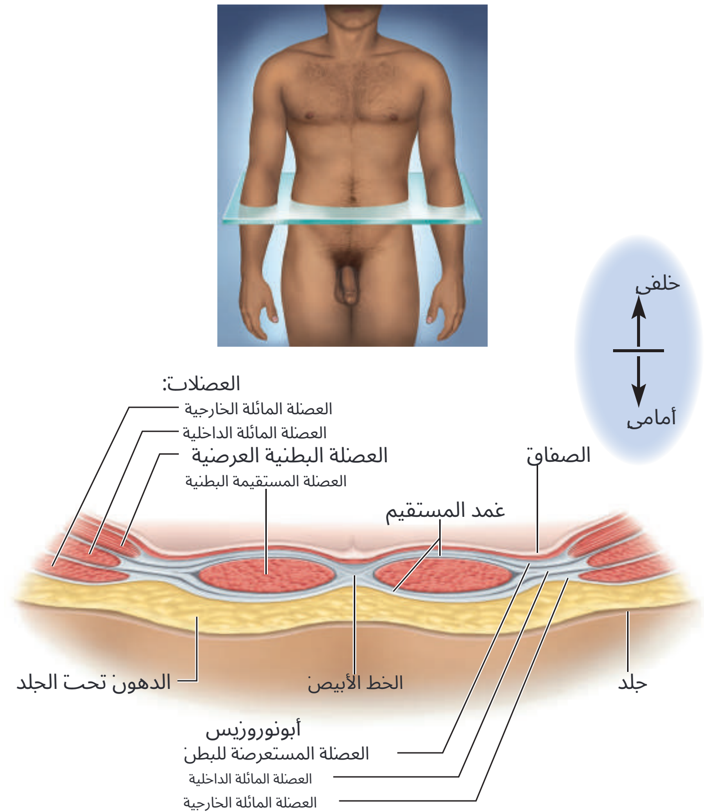
10.3ب عضلات جدار البطن

على عكس تجويف الصدر، فإن تجويف البطن يحتوى على دعم هيكلى قليل. ومع ذلك، فهو محاط بطبقات من العضلات العريضة المسطحة التى تمتد أليافها فى اتجاهات مختلفة، مما يقوى جدار البطن على نفس مبدأ طبقات الألياف الخشبية المتبادلة فى الخشب الرقائقى (الجدول 10.5).

ثلاث طبقات من العضلات تحيط بمنطقة القطن وتمتد حتى منتصف البطن الأمامى تقريبًا (الشكل 10.15).

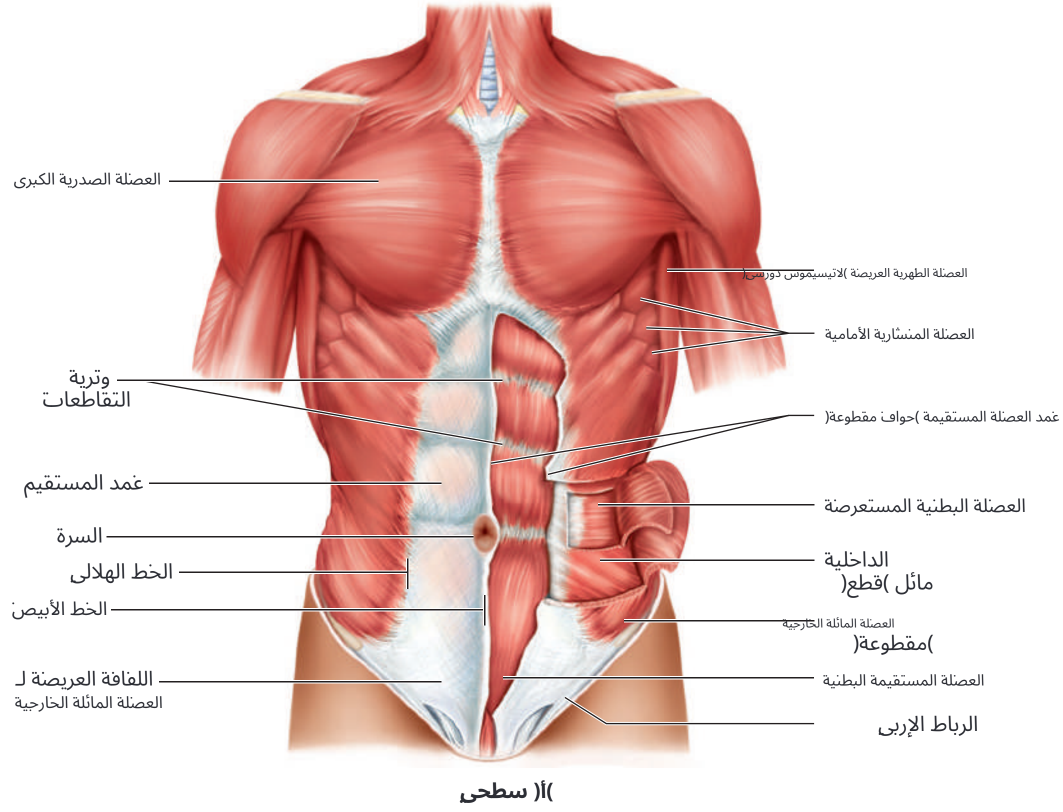
أكثر الطبقات سطحية هى عضلة المائل الخارجى. تمر أليافه إلى الأسفل والأمام. الطبقة الأعمق التالية هى العضلة المائلة الداخلية، التى تمر أليافها إلى الأعلى والأمام، بشكل تقريبى عمودى على ألياف العضلة المائلة الخارجية. أعمق طبقة هى العضلة البطنية المستعرضة (transversus abdominis)، ذات الألياف الأفقية.

أماميًا، تمتد زوج من العضلات المستقيمة البطنية من عظم القص إلى العانة. هذه العضلات مقسمة إلى أجزاء بواسطة ثلاثة تقاطعات وترية عرضية، مما يمنحها مظهرًا يطلق عليه لاعبو كمال الأجسام "الحزمة الستة". أوتار العضلات المائلة والمستعرضة هى أبونيوروزات — صفائح ليفية عريضة تستمر نحو الوسط والأسفل (الشكلين 10.16، 10.17). عند العضلة المستقيمة البطنية، تتباعد هذه الأوتار وتمر حول جانبيها الأمامى والخلفى، محاطةً العضلة فى غلاف عمودى يسمى غمد المستقيم. تلتقى مرة أخرى عند خط وسطى يسمى الخط الأبيض (linea alba)[50] بين عضلات المستقيم. خط آخر، الخط الهلالى (linea semilunaris)[51]، يحدد الحد الجانبى حيث يلتقى غمد المستقيم بالأبونيوروزة. أبونيوروزة العضلة الخارجية

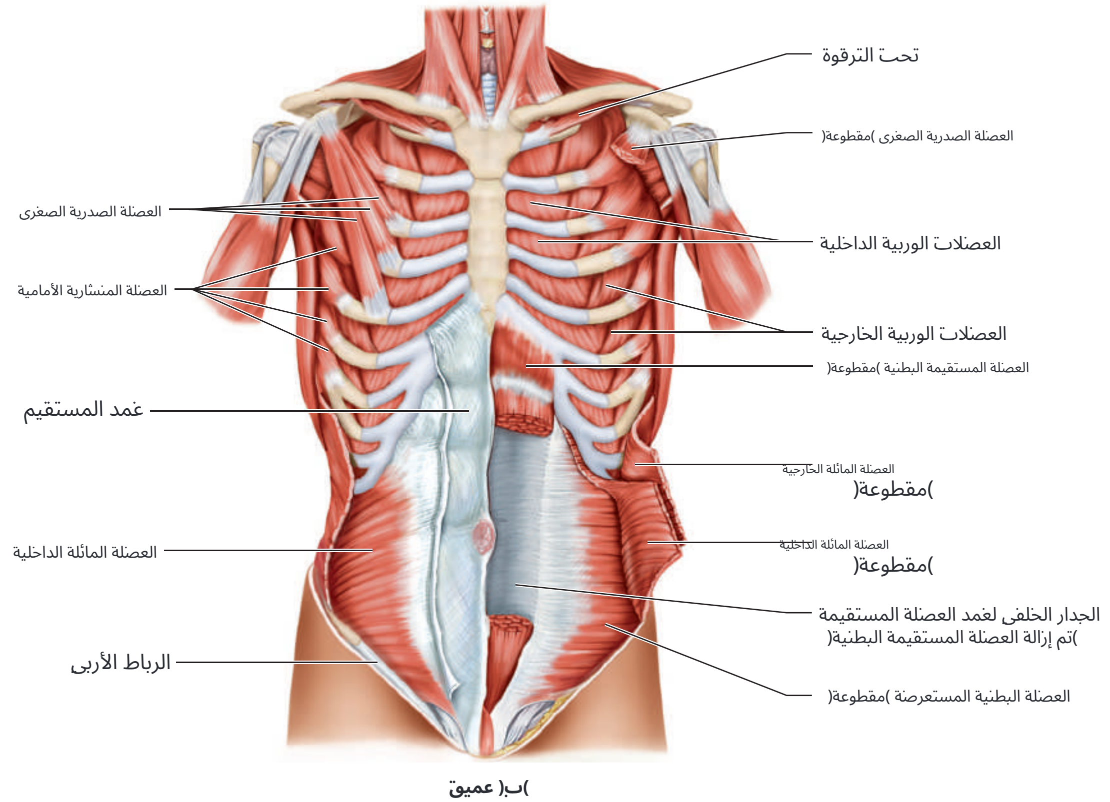


الشكل 10.15 مقطع عرضى لجدار البطن الأمامى.

[48] dia = عبر؛ phragm = حاجز
[49] inter = بين؛ costa = ضلع
[50] linea = خط؛ alba = ابيض
[51] linea = خط؛ semilunaris = هلالى = نصف قمر



)أ(سطحى

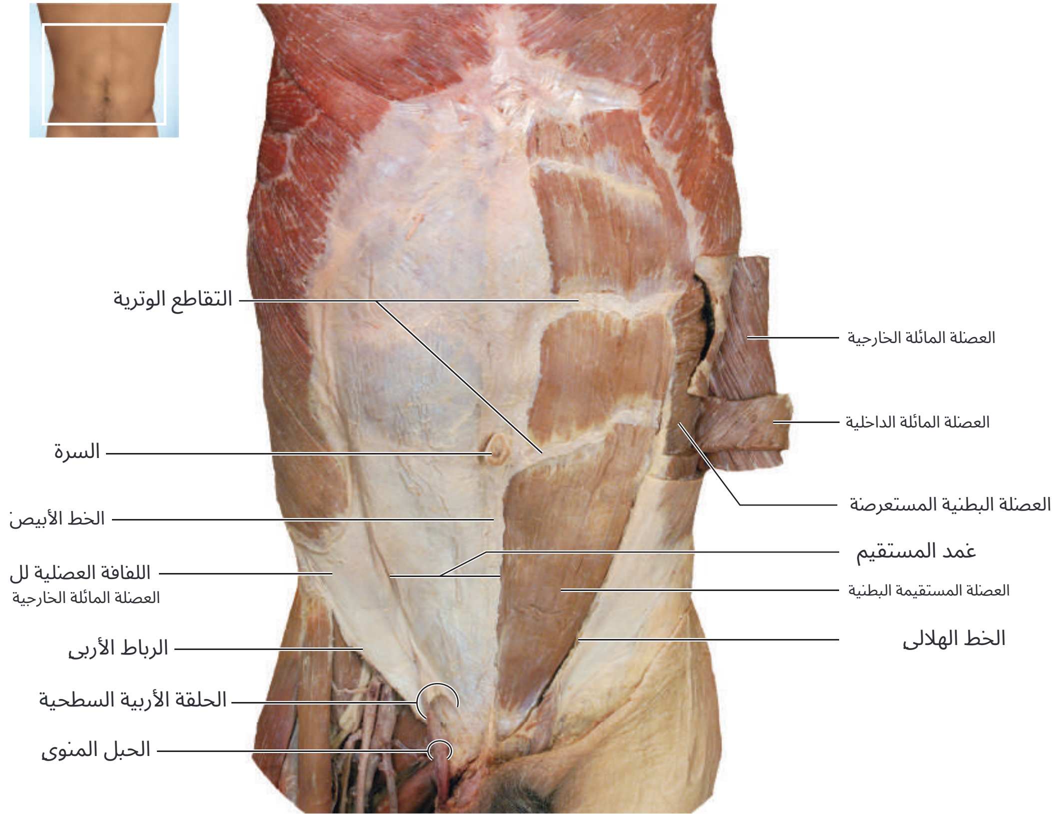


)ب(عميق

الشكل 10.16 عضلات الصدر والبطن.)أ(العضلات السطحية. تم قطع غمد العضلة المستقيمة الأيسر لكشف عضلة المستقيمة البطنية.)ب(العضلات العميقة . على الجانب التشريحى الأيمن، تمت إزالة العضلة المائلة الخارجية لكشف العضلة المائلة الداخلية وتمت إزالة العضلة الصدرية الكبرى لكشف العضلة الصدرية الصغرى. على الجانب التشريحى الأيسر، تمت إزالة العضلة الصدرية الصغرى لكشف العضلات بين الأضلاع الخارجية؛ وتم قطع العضلة المائلة الداخلية لكشف العضلة المستعرضة للبطن؛ وتم قطع منتصف العضلة المستقيمة البطنية لكشف غمد العضلة المستقيمة الخلفى.

APR

ادكر على الأقل ثلاث عضلات تقع تحت العضلة الصدرية الكبرى.



الشكل 10.17 عضلات الصدر والبطن فى الجثة. تم إزالة غمد العضلة المستقيمة على الجانب التشريحى الأيسر لكشف العضلة المستقيمة البطنية اليسرى. تُظهر الصورة المصغرة منطقة التشريح.
كريستين إكل / ماكجرو هيل

الجدول 10.5 عضلات جدار البطن

الاسم	الفعل	المرفقات العظمية	التعصيب
العضلة المائلة الخارجية	يدعم الأحشاء البطنية ضد سحب الجاذبية؛ يثبت العمود الفقرى أثناء الرفع الثقيل؛ يحافظ على الوضعية؛ يضغط على أعضاء البطن، مما يساعد فى التنفس العميق، الأصوات العالية مثل الغناء والتحدث أمام الجمهور، وفى إخراج محتويات البطن والحوض أثناء الولادة، التبول، التبرز، والتقيؤ؛ يسبب الانقباض الأحادى الجانب دورانًا معاكسًا للعمود الفقرى، كما فى الالتواء عند الخصر.	• الأضلاع 5–12 • النصف الأمامى من حافة الحرقفة؛ التقاء العانة والحد العلوى للعانة	الفروع الأمامية للأعصاب الشو كية من T7 إلى T12
العضلة المائلة الداخلية	نفس عمل العضلة المائلة الخارجية باستثناء أ ن الانقباض الأحادى الجانب يسبب دورانًا فى ن فس جانب الخصر	• الرباط الإربى؛ حافة الحرقفة؛ الل فافة الصدرية القطنية • الأضلاع 10–12؛ الغضاريف الضلعية 7–10؛ العانة	الفروع الأمامية للأعصاب الشو كية من T7 إلى L1
العضلة البطنية المستعرضة	يضغط محتويات البطن، مع نفس تأثيرات ا لعضلة المائلة الخارجية، لكنه لا يساهم فى حركا ت العمود الفقرى	• الرباط الإربى؛ حافة الحرقفة؛ اللفافة الصدرية ا لقطنية؛ الغضاريف الضلعية 7–12 • الخط الأبيض؛ العانة؛ اللفافة العضلية للع ضلة المائلة الداخلية	الفروع الأمامية للأعصاب الشو كية من T7 إلى L1
العضلة المستقيمة البطنية (REC-tus ab-DOM-ih-nis)[52]	يثنى الخصر، كما فى الانحناء للأمام أو أداء تمارين البطن؛ يثبت منطقة الحوض أثناء ا لمشى؛ ويضغط الأحشاء البطنية	• الارتفاق العانى والحافة العلوية للعانة • النتوء الخنجرى؛ غضاريف الأضلاع ٥–٧	الفروع الأمامية للأعصاب الشو كية من T6 إلى T12

[52]المستقيم = مستقيم

التلفاز. كلاهما تصبحان حوامل. مع ثبات العوامل الأخرى، ادكر سببًا واحدًا مرتبطًا بالجدول 10.5 يفسر لماذا قد تواجه أليس وقتًا أسهل فى الولادة مقارنة بمارتا.

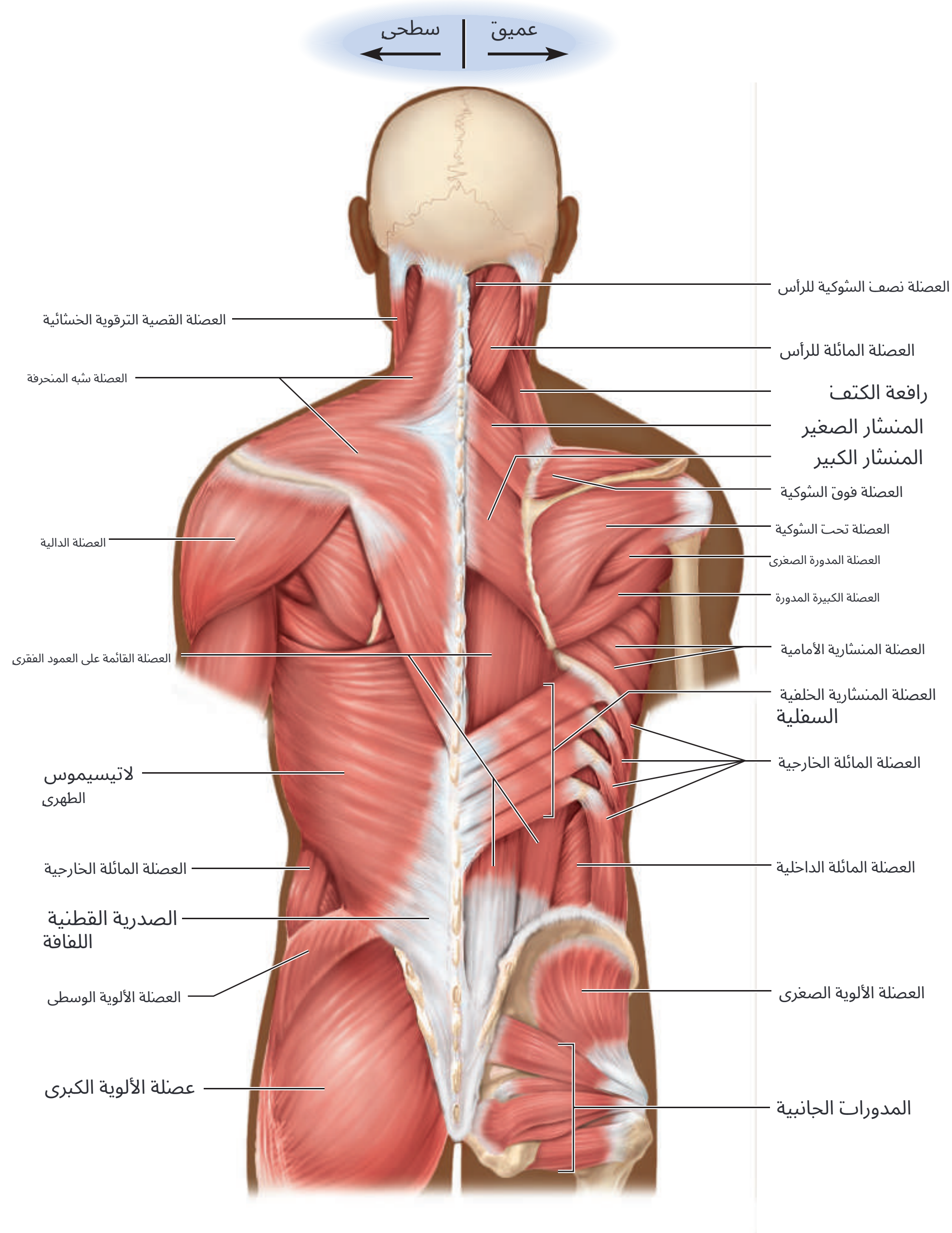
10.3ح عضلات الظهر

عضلات الظهر (الجدول 10.6) تقوم بشكل رئيسى بتمديد، وتدوير، و ثنى العمود الفقرى جانبياً. أكثر عضلات الظهر السطحية بروزاً هى *العضلة الظهرية العريضة* و *العضلة شبه المنحرفة* (الشكل 10.18)، لكنها مرتبطة بحركات الطرف العلوى ومغطاة فى الجداول 10.8 و10.9. تقع تحتها عضلات المنشارية الخلفية العلوية و السفلية (الأشكال 10.18، 10.19). تمتد من

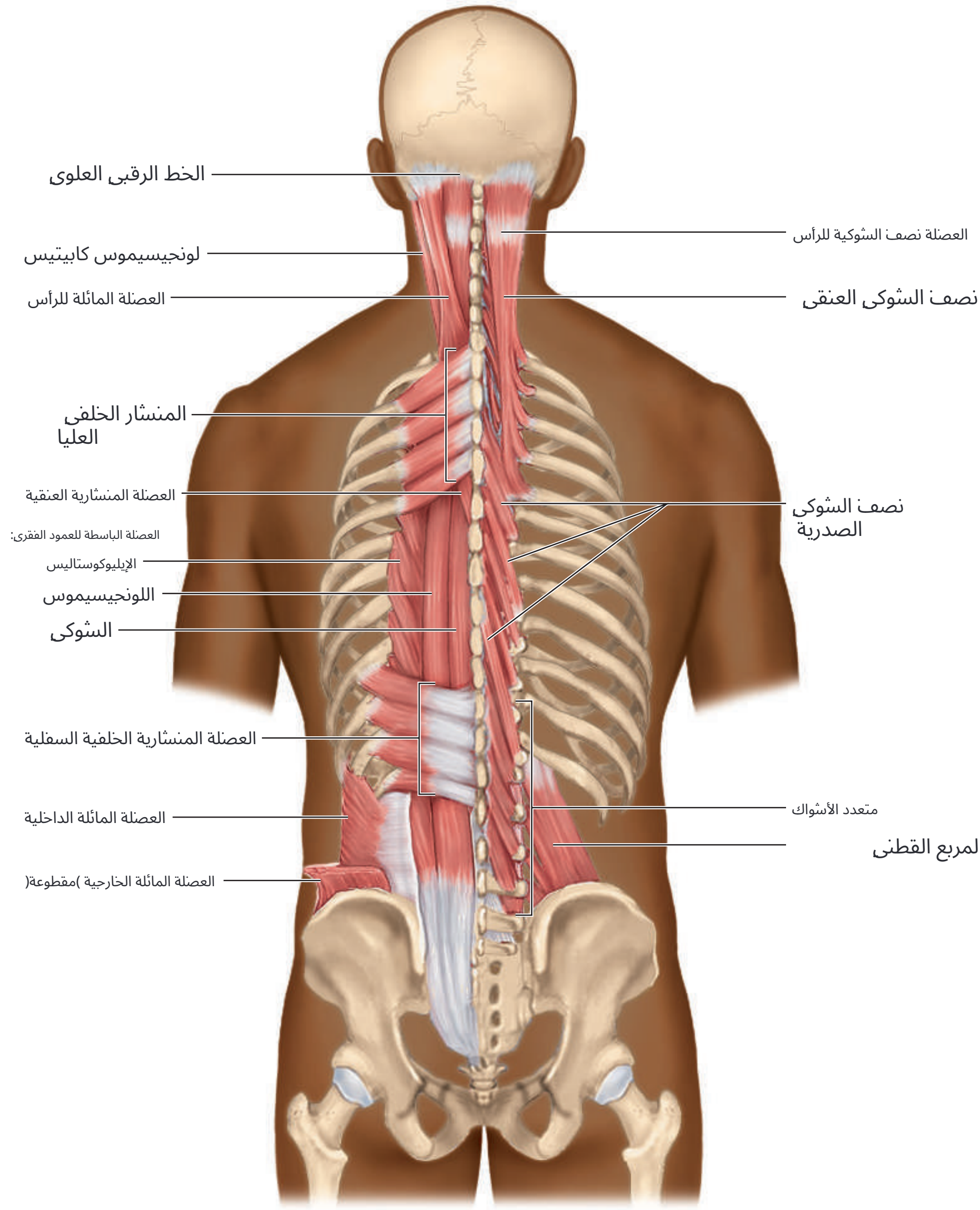
العضلة المائلة تشكل أيضًا رباطًا إربيًا على شكل حبل عند حافتها السفلية. يمتد هذا الرباط بشكل مائل من الشوكة العلوية الأمامية لعظم الحرقفة إلى العانة. الخط الأبيض، الخط شبه الهلالى، والرباط الإربى مرئية خارجيًا على الشخص الذى يتمتع بتعريف عضلى جيد (انظر الأطلس B، الشكل B.8).
النقاط الضعيفة فى جدار البطن يمكن أن تكون مواقع للفتوق الإربية والسُرّة (انظر التعمق 10.3).

▶▶▶ طبق ما تعرفه

تتمرن أليس فى مركز للياقة البدنية ثلاث مرات فى الأسبوع تمارس رفع الأثقال وتمارين البطن. تفضل مارتا الجلوس على الأريكة وتناول رقائق البطاطس ومشاهدة



الشكل 10.18 عضلات الرقبة والظهر والألوية. تُعرض العضلات السطحية الأكثر على اليسار والطبقة الأعمق التالية على اليمين. APR

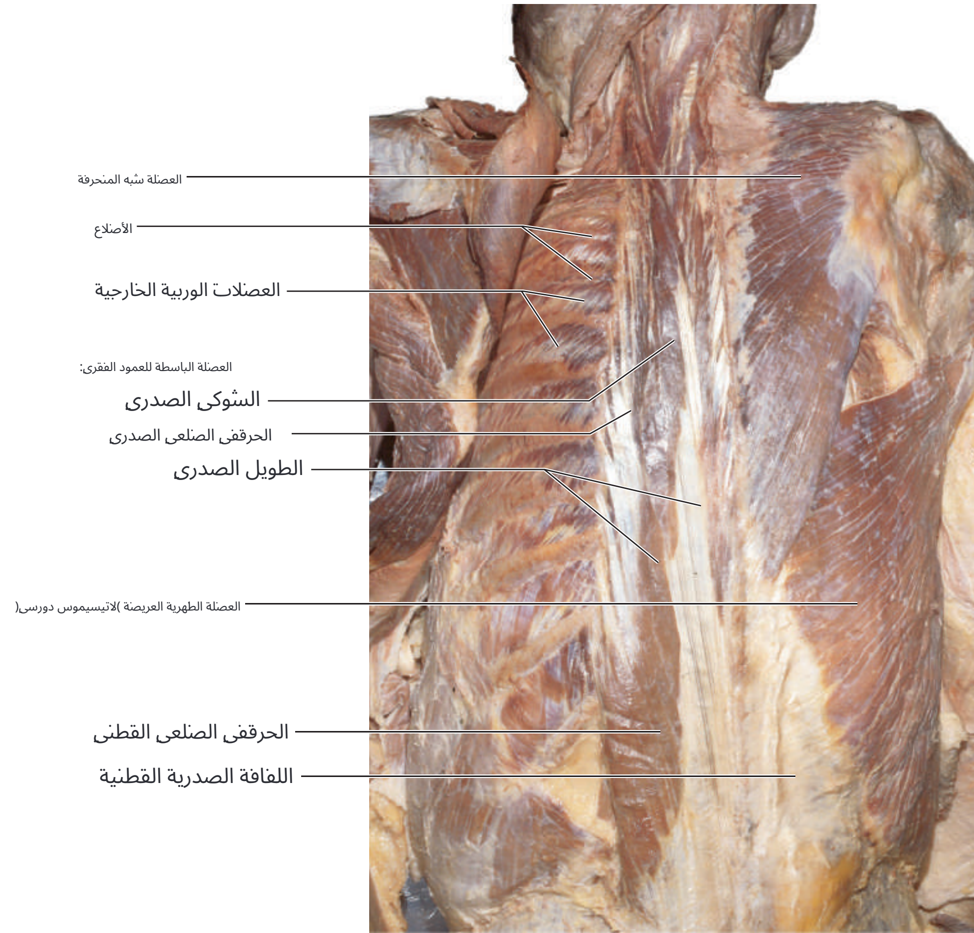


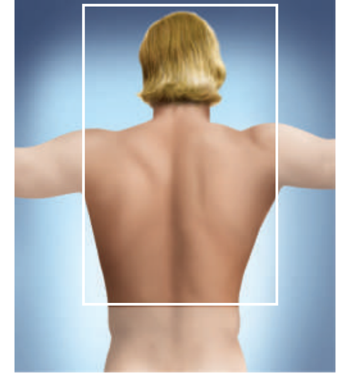
الشكل 10.19 العضلات التى تؤثر على العمود الفقرى. هذه العضلات أعمقٰ من العضلات فى الشكل 10.18، وتلك الموجودة على اليمين أعمقٰ من تلك المو جودة على اليسار.

العمود التالى نحو الوسط هو الطويل الأمد، مقسم من الأسفل إ لى الأعلى إلى *الطويل الأمد الصدرى، الطويل الأمد العنقى، و الطويل الأمد الرأسى*)المناطق الصدرية، العنقية، والرأسية(. أكثر الأعمدة وس طية هو الشوكى، مقسم إلى *الشوكى الصدرى، الشوكى العنقى، و ال شوكى الرأسى*. وظائف الأعمدة الثلاثة متشابهة إلى حد كبير بحيث سنتعامل معها جماعيًا كعضلة الباسطة للعمود الفقرى.

العضلات العميقة الرئيسية هى نصف الشوكى الصدرى فى منطقة الصدر و المربع القطنى فى منطقة القطنى)الشكل 10.19(. العضلة الباسطة للعمود الفقرى والمربع القطنى محاطتان بغمد ليفى يسمى اللفافة الصدرية القطنية)الشكل 10.18(، وهو منشأ بعض عضلات البطن و الفقرات إلى الأضلاع. تساعد فى التنفس العميق ويتم مناقشتها بش كل أوسع فى الفصل 22.

تحت هذه العضلات توجد عضلة بارزة، وهى العضلة القائمة على الع مود الفقرى، التى تمتد عمودياً على طول الظهر بأكمله من الجمجمة إلى ا لعجز)الشكل 10.20(. إنها عضلة سميكة على كل جانب من العمود الفقر ى فى منطقة أسفل الظهر.)يتم قطع شرائح لحم الخنزير وشرائح تى-بون م ن عضلات القائمة على العمود الفقرى فى الحيوانات.(ومع صعودها، تنق سم فى منطقة أسفل الظهر العليا إلى ثلاثة أعمدة متوازية. أكثر هذه الأعم دة جانبية هو العضلة الحرقفية الضلعية، التى تنقسم من الأسفل إلى الأع لى إلى *العضلة الحرقفية الضلعية القطنية، العضلة الحرقفية الضلعية ال صدرية، و العضلة الحرقفية الضلعية الرقبية*)مناطق القطنية، الصدرية، و الرقبية(.





الشكل 10.20 عضلات الظهر العميقة لجثة ا لإنسان.

ريبيكا غراى / دون كينكيد / ماكجرو هيل

الجدول 10.6	**عضلات الظهر**		
الاسم	**الفعل**	**المرفقات العظمية**	**التعصيب**
العضلة الباسطة للعمود الفقرى)إى-ريكتور سباينى(	تساعد فى الجلوس والوقوف بشكل مستقيم؛ تُقوّى الظهر بعد الانحناء عند الخصر، وتُستخدم فى تقويس الظهر؛ الانقباض الأحادى الجانب يثنى الخصر جانبيًا؛ كما أن لونجيسيموس كابيتيس يُنتج دورانًا إلى نفس الجانب للرأس.	• الرباط القذالى؛ الأضلاع 3–12؛ الفقرات ا لصدرية والقطنية؛ التلال العجزية الوس طى والجانبية؛ اللفافة الصدرية القطنية • النتوء الخشائى؛ الفقرات العنقية والصدرية؛ جميع الأضلاع	الفروع الخلفية للأعصاب الشوكية من العنق إلى القطنية
نصف الشوكى الصدرى)سيم-إى-سباى-نيلس ثو-را-سيس(	تمديد ودوران معاكس للعمود الفقرى	• الفقرات الصدرية T6–T10 • الفقرات العنقية C6–T4	الفروع الخلفية للأعصاب الشوكية العنقية والصدرية
العضلة المربعة القطنية[53] (quad-RAY-tus lum-BORE-um)	التقلص الأحادى الجانب يسبب انثناء العمود ا لفقرى القطنى فى نفس الجانب؛ التقلص الثنائى الجانب يمدد العمود الفقرى القطنى. يساعد ف ى التنفس عن طريق تثبيت الضلع 12 وتثبيت مر فقات الحجاب الحاجز.	• حافة الحرقفة؛ الرباط الحرقفى القطنى • الضلع 12؛ الفقرات القطنية L1–L4	الفروع الأمامية للأعصاب ا لشوكية T12–L4
العضلة متعددة الأشواك[54] (mul-TIFF-ih-dus)	تثبت الفقرات المجاورة، تحافظ على الوضعية، تتحكم فى حركة الفقرات عندما تعمل العضلة ا لباسطة للعمود الفقرى على العمود الفقرى	• الفقرات C4–L5؛ الشوكة الحرق فية العلوية الخلفية؛ العجز؛ الل فافة العضلية للعضلة الباسطة للع مود الفقرى • الصفائح والنواتئ الشوكية لل فقرات فوق نقاط الأصل	الفروع الخلفية للأعصاب الشوكية من العنق إلى القطنية

[53] مربع = ذو أربعة أضلاع؛ *القطنى* = من منطقة القطنية

[54] متعدد = كثير؛ *مشقّق* = متفرع، مقسم

العضلات القطنية. يُطلق اسم multifidus على مجموعة من العضلا
ت الصغيرة التى تربط الفقرات المجاورة ببعضها من المنطقة العنقية
إلى القطنية.



نظرة أعمق 10.2

التطبيق السريرى

الرفع الثقيل وإصابات الظهر

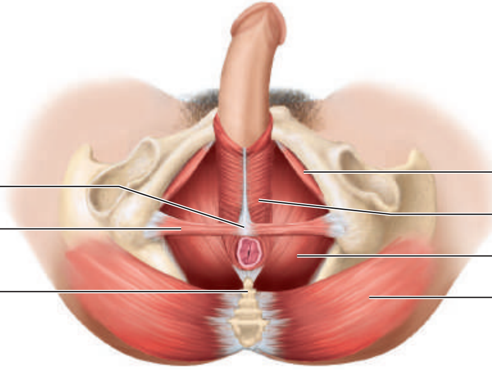
عندما تنحنى بالكامل إلى الأمام، كما فى لمس أصابع قدميك، يكون عضلة الباس
طة للعمود الفقرى (erector spinae) مشدودة بالكامل. بسبب علاقة الطول-ال
توتر التى تم شرحها فى القسم 11.4e، العضلات التى تُشد إلى مثل هذه الحدود ا
لقصوى لا يمكنها الانقباض بفعالية كبيرة. لذلك، يبدأ الوقوف من هذا الوضع بوا
سطة عضلات أوتار الركبة فى الجزء الخلفى من الفخذ وعضلة الألوية الكبرى (glut
eus maximus) فى الأرداف. تنضم عضلة الباسطة للعمود الفقر
ى إلى الحركة عندما تنقبض جزئياً.

الوقوف فجأة أو رفع وزن ثقيل بشكل غير صحيح، مع ذلك، يمكن أن يجهد ع
ضلة الباسطة للعمود الفقرى، ويسبب تشنجات عضلية مؤلمة، وتمزق الأوتار والأر
بطة فى أسفل الظهر، وتمزق الأقراص بين الفقرات.
العضلات القطنية (lumbar muscles) مهيأة للحفاظ على الوضعية، وليست مخصصة للرفع.
لهذا السبب من المهم، عند رفع أوزان ثقيلة، أن تنحنى وتستخدم عضلات الباسط
ة القوية فى الفخذين والأرداف لرفع الحمل.

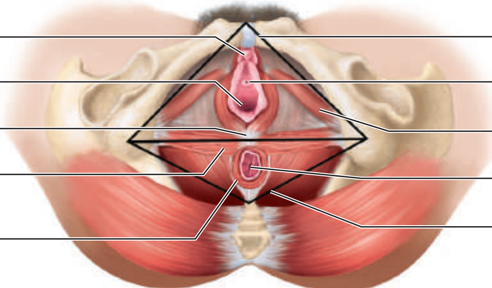
10.3d عضلات قاع الحوض

قاع تجويف الحوض (الشكل 10.21؛ الجدول 10.7) هو طبقة عضلية
متعددة الطبقات قوية مهمة لدعم الأحشاء البطنية والحوضية — خا
صةً فى ضوء وضعية الإنسان القائم على قدمين، حيث لم يعد جدار ا
لبطن يشكل قاعاً داعماً كما هو الحال فى الثدييات الرباعية الأرجل. يم
كن أن يؤدى ضعف قاع الحوض إلى سلس البول أو البراز أو هبوط (
تدلى) الأعضاء الداخلية بين الفخذين. العضلات والمعالم العظمية هنا
ذات أهمية خاصة فى التوليد.

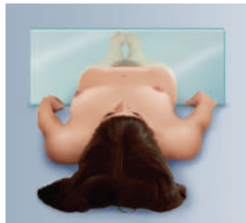
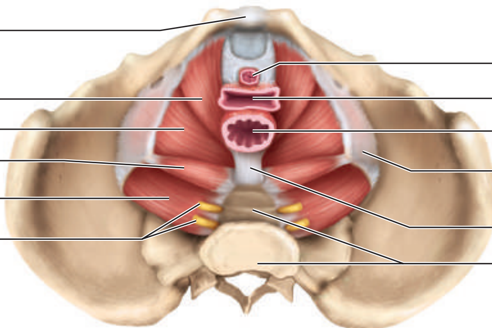
عند النظر من داخل تجويف الحوض، يتكون قاعه بشكل رئيسى
من عضلة واسعة تسمى *levator ani* أسفلها

(أ) الفراغ العجانى السطحى، منظر سفلى، ذكر

(ب) الفراغ العجانى العميق، منظر سفلى، أنثى

(ح) الحجاب الحاجز الحوضى، منظر علوى، أنثى

الشكل 10.21 عضلات قاع الحوض. (أ) الفراغ العجانى السطحى، ذكر، منظر من الأسفل (الجانب السفلى). (ب) الفراغ العجانى العميق، أنثى، منظر من نفس ا
لزاوية. باستثناء قناة المهبل، الأجناس متشابهة تقريبًا عند هذا المستوى، بما فى ذلك المثلثان البولى التناسلى والشرجى. جذر القضيب لا يمتد إلى هذا المستو
ى. (ح) الحجاب الحاجز الحوضى، أنثى، منظر من الأعلى (من داخل تجويف الحوض).

الاسم	الفعل	المرفقات العظمية	التعصيب
الجدول 10.7 عضلات قاع الحوض			
الفضاء العجانى السطحى			
عضلة الإسكيوكافيرنوسوس[55])إسكى-أو-كاف-إر-نوسوس)	تحافظ على انتصاب القضيب أو البظر عن طريق ضغط الهياكل العميقة للعضو ودفع الدم إلى الأمام داخل جسمه	• الفرع والناتئ العجزيبحيط بالهياكل الداخلية للقضيب والبظر •	العصب العجانى
عضلة البلبوسبونجيوسوس[56])بلب-سبون-جى-أوه-سوس)	تطرد البول المتبقى من الإحليل بعد إفراغ المثانة. تساعد فى انتصاب القضيب أو البظر. عند الذكور، التقلصات التشنجية تطرد السائل المنوى أثناء القذف. عند الإناث، التقلصات تضيق فتحة المهبل وتطرد إفرازات الغدد الدهليزية الكبرى.	• الجسم العجانى والرافة الوسطى • الذكر: يحيط بجذر القضيب الأنثى: الارتفاق العانى	العصب العجانى
الفضاء العجانى العميق			
العميق العرضى العجانى	يثبت الجسم العجانى، الذى يدعم عضلات الحوض الأخرى؛ يدعم قنوات المهبل والإحليل	• فروع العانة العجانية • الجسم العجانى	العصب العجانى
ضاغط الإحليل)يو-رى-ثرى)	يساعد فى احتباس البول؛ يوجد فقط عند الإناث	• فروع العانة العجانية • يلتقى ضاغطا الإحليل الأيمن والأيسر أسفل المصرة الخارجية للإحليل	العصب العجانى؛ الأعصاب الشوكية S2–S4؛ العصب الحشوى الحوضى
مثلث الشرج			
المصرة الشرجية الخارجية	يحتفظ بالبراز فى المستقيم حتى يتم تفريغه طوعًا	• العصعص، الجسم العجانى • يحيط بالقناة الشرجية والفتحة	العصب العجانى؛ الأعصاب الشوكية S2–S4؛ العصب الحشوى الحوضى
الحجاب الحاجز الحوضى			
رافعة الشرج[57])ليه-فاى-تور آى-نى)	يضغط على القناة الشرجية ويقوى المصرة الشرجية الخارجية ومصرة الإحليل؛ يدعم الرحم وغيره من الأحشاء الحوضية؛ يساعد فى سقوط البراز؛ الحركات الرأسية تؤثر على فروق الضغط بين تجويف البطن وتجويف الصدر وبالتالى تساعد فى التنفس العميق.	• السطح الداخلى للحوض الصغير من العانة عبر هامش العضلة السدادية الداخلية إلى شوكة العجزالعصعص • عبر الجسم العجانى الشرجى؛ جدران الإحليل، المهبل، والقناة الشرجية	العصب العجانى؛ الأعصاب الشوكية S2–S3

العضلات العجانية العرضية السطحية. فى الإناث، يحتوى هذا الفراغ أيضًا على البظر؛ والغدد المختلفة والأنسجة الانتصابية للأعضاء التناسلية)انظر الشكل 28.8(؛ والأنسجة الدهنية التى تمتد إلى وتزيد من حجم العانة والشفاه الكبرى. فى الذكور، يحتوى على جذر القضيب.

تتقارب عضلات الإسكى كافيرنوسوس على شكل حرف V من النتوءات الإسكية نحو القضيب أو البظر. فى الذكور، تشكل عضلات البلبوسبونجيوس)البلبو كافيرنوسوس(غلافًا حول جذر القضيب، وفى الإناث تحيط بالمهبل مثل زوج من الأقواس. يشير مصطلح كافيرنوسوس فى هذه الأسماء إلى البنية الإسفنجية الكهفية للأنسجة فى القضيب والبظر.

تمتد العضلات العجانية العرضية السطحية من النتوءات الإسكية إلى تثبيتة ليفية عضلية وسطية قوية، وهى الجسم العجانى، وخياطة وسطية تسمى الندبة العجانية)RAY-fee(تمتد أماميًا من الجسم العجانى.

قد تساعد هذه العضلات فى تثبيت الجسم العجانى، لكنها ضعيفة التطور وليست موجودة دائمًا، لذلك لم تُدرج فى الجدول 10.7. أما الزوجان الآخران من العضلات فى هذه الطبقة فوظيفتهما الأساسية جنسية.

هذا هو العجان)PERR-ih-NEE-um(، منطقة على شكل ماسة بين الفخذين تحدها أربعة معالم عظمية: العانة الأمامية، العصعص الخلفى، والنتوءات الإسكية الجانبية. يمر من خلال قاع الحوض والعجان القناة الشرجية، الإحليل، والمهبل. النصف الأمامى من العجان هو المثلث البولى التناسلى والنصف الخلفى هو

المثلث الشرجى.

ينقسم المثلث البولى التناسلى إلى حجرتين عضليتين مفصولتين بواسطة غشاء عجانى قوى. الحجرة العضلية بين هذا الغشاء والجلد تسمى *الفراغ العجانى السطحى*، والحجرة بين الغشاء العجانى وعضلة الرافعة العانية تسمى *الفراغ العجانى العميق*. سنقوم بفحص هذه الهياكل بدءًا من الأسفل، تحت الجلد مباشرة، ونتقدم صعودًا إلى قاع الحوض.

الفراغ العجانى السطحى

يحتوى الفراغ العجانى السطحى)الشكل 10.21أ(على ثلاثة أزواج من العضلات: *عضلة الإسكى كافيرنوسوس*، *عضلة البلبوسبونجيوس*، و

[57] *الرافعة* = الذى يرفع؛ *الشرج* = للشرج

[55] *العجز* = عظم العجز فى عظم الحوض؛ *الكهفى* = الجسم الكهفى للقضيب أو البظر
[56] *البصلة* = بصلة القضيب؛ *الإسفنجى* = الجسم الإسفنجى للقضيب



نطرة أعمق 10.3

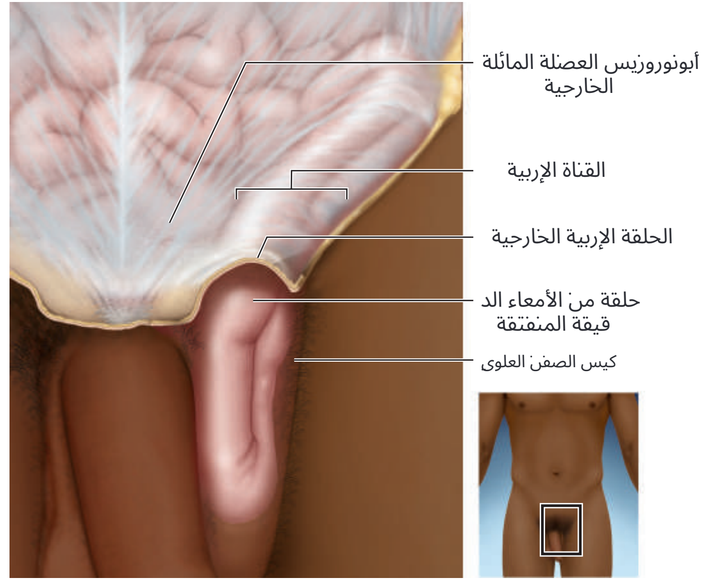
التطبيق السريرى

الفتوق

الفتق هو أى حالة تبرز فيها الأحشاء من خلال نقطة ضعف فى جدار العضلات ل تجويف البطن والحوض.
أكثر الأنواع شيوعًا التى تتطلب علاجًا هو الفتق الإربى)الشكل 10.22(. فى الجنى ن الذكر، ينزل كل خصية من تجويف الحوض إلى كيس الصفن عبر ممر يسمى ا لقناة الإربية من خلال عضلات الفخذ. ينزل كيس طويل من الصفاق مع الخصية، لكنه عادة ما يختفى عند الولادة. تحدث الفتوق عند الرضع والأطفال عندما يستمر هذا الكيس، مما يسمح بدخول حلقة من الأمعاء إليه وظهورها بالقرب من أو داخل كيس الصفن

)الفتق غير المباشر(. قد تظهر الفتوق عند البالغين بشكل مشابه لكنها غالبًا ما تكو ن نتيجة ضعف فى القناة الإربية)الفتق المباشر(. يمكن أن ينتج هذا عن الإجهاد ا لمتكرر مثل رفع الأثقال. عندما ينقبض الحجاب الحاجز وعضلات البطن، يمكن أن يرتفع الضغط فى تجويف البطن إلى 1500 رطل لكل بوصة مربعة—أكثر من 100 ضعف الضغط الطبيعى وكافٍ لإحداث فتق إربى، أو "تمزق". تحدث الفتوق الإربي ة عند النساء من خلال أرضية الحوض ومواقع قريبة أخرى.

موقعان آخران للفتق هما الحجاب الحاجز والسرة. الفتق الحجابى هو حالة يبرز فيها جزء من المعدة من خلال الحجاب الحاجز إلى تجويف الصدر. هذا شائع أكثر عند الأشخاص الذين يعانون من زيادة الوزن فوق سن الأربعين. قد يسبب حرقة ا لمعدة بسبب ارتجاع حمض المعدة إلى المرىء، لكن معظم الحالات لا تُكتشف. فى الفتق السرى، تبرز أحشاء البطن من خلال السرة.



الشكل 10.22 الفتق الإربى. برزت حلقة من الأمعاء الدقيقة من خلال الق ناة الإربية إلى مساحة تحت الجلد.

من عضلات الرافعة العانية اليمنى واليسرى.)العضلة الكمثرية، المو ضحة أيضًا، هى فى الأساس عضلة للطرف السفلى.(تمتد عضلات ا لرافعة العانية عبر معظم مخرج الحوض وتشكل أرضية الحوض الأصغ ر)الحوض الحقيقى(. وتنقسم إلى ثلاثة أجزاء تُعتبر أحيانًا عضلات من فصلة — العانية العصعصية)أو العصعصية(، الحرقفية العصعصية و العانية العصعصية. تتقارب عضلات الرافعة العانية اليمنى واليسر ى عند رباط العجان العصعصى، الذى من خلاله يتم تثبيتها بشكل غير مباشر على العصعص.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

11. أى العضلات تُستخدم أكثر، العضلات الوربية الخارجية أم العضلات الوربية الداخلية؟ فسّر.
12. اشرح كيف يؤثر التهوية الرئوية على ضغط البطن والعكس صحيح.
13. اذكر عضلة سطحية رئيسية وعضلتين عميقتين رئيسيتين فى الظهر.
14. عرف العجان، المثلث البولى التناسلى، و المثلث الشرجى.
15. اذكر عضلة واحدة فى الفضاء العجانى السطحى، وواحدة فى الح جاب الحاجز البولى التناسلى، وواحدة فى الحجاب الحاجز الحو ضى. اذكر وظيفة كل منها.

المساحة العميقة للعجان

تحتوى المساحة العميقة للعجان)الشكل 10.21ب(على زوج من ع ضلات العجان العرضية العميقة وفى الإناث فقط، على عضلات صا غطة الإحليل. تثبت عضلات العجان العرضية العميقة جسم العجان على المستوى المتوسط؛ وجسم العجان بدوره يثبت عضلات الحوض الأخرى. يُعتبر المصرة الخارجية للإحليل عند الإناث، التى كان يُعتقد لفترة طويلة أنها جزء من المساحة العميقة للعجان، الآن جزءًا من الإح ليل نفسه وليست جزءًا من عضلات قاع الحوض.

المثلث الشرجى

يحتوى المثلث الشرجى على المصرة الخارجية للشرج ورباط العجان العصعصى)الشكل 10.21ب(. المصرة الخارجية للشرج هى عضلة أ نبوبية تحيط بالقناة الشرجية السفلية. رباط العجان العصعصى هو نق طة إدخال وسطى لعضلات الرافعة العانية، والرباط بدوره يثبت على ا لعصعص. لذلك، فهو نقطة تثبيت رئيسية للهياكل التى تشكل قاع ال حوض.

الحجاب الحاجز الحوضى

يقع الحجاب الحاجز الحوضى)الشكل 10.21ح(أعمق من الهياكل ال سابقة)الأعلى فى قاع الحوض(ويتكون بشكل رئيسى

الطرف السفلى مقسمة إلى حجرات أمامية، خلفية، وسطى، وجانبية. فى معظم مناطق الأطراف، تُقسم مجموعات العضلات إلى طبقات سطحية وعميقة بواسطة أغطية رقيقة)فاشيا(.

يُستخدم الطرف العلوى لمجموعة واسعة من الحركات القوية والر قيقة، بدءًا من التسلق، الإمساك، والرمى إلى الكتابة، العزف على الآلا ت الموسيقية، والتعامل مع الأشياء الصغيرة. لذلك يحتوى على مجم وعة معقدة من العضلات، لكن العضلات تقع ضمن مجموعات منطق ية تسهل فهم علاقاتها الوظيفية وأسمائها. الجداول الخمسة التالية تح مع هذه العضلات فى مجموعات تعمل على الكتف، العضلات التى تؤثر على العضد ومفصل الكتف، تلك التى تؤثر على الساعد ومفصل المرفق، العضلات الخارجية)الساعد(التى تؤثر على الرسغ واليد، والع ضلات الداخلية)اليد(التى تؤثر على الأصابع.

10.4 العضلات المؤثرة على الكتف والطر ف العلوى

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. تسمية وتحديد موقع العضلات التى تؤثر على الحزام الصدرى ، الكتف، المرفق، المعصم، واليد؛

ب. ربط أفعال هذه العضلات بحركات المفاصل الموضح ة فى الفصل 9؛ و

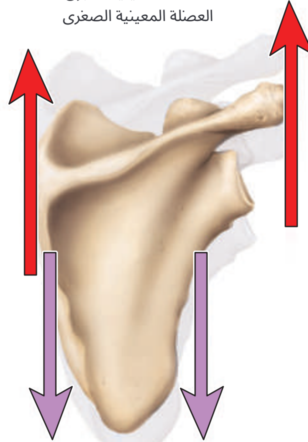
ح. وصف المرفقات العظمية، الحركة، والتعصيب لهذه العضلات.

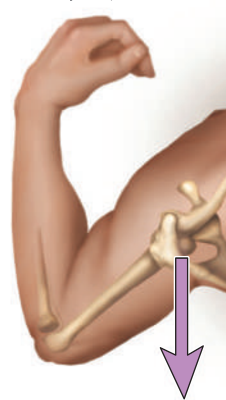
10.4أ عضلات تؤثر على الكتف

العضلات التى تؤثر على الحزام الصدرى)الجدول 10.8(تمتد من اله يكل المحورى إلى الترقوة والكتف. الكتف مرتبط بشكل غير محكم با لقفص الصدرى وقادر على حركة كبيرة)الشكل 10.23 — الدوران(كما فى رفع وخفض قمة الكتف(، الرفع والخفض)كما فى رفع وخف ض الكتفين(، و

الأطراف العلوية والسفلية تحتوى على العديد من العضلات التى تخدم بالأساس لحركة الجسم والتعامل مع الأشياء. هذه العضلات منظمة فى حجرات مميزة مفصولة عن بعضها بواسطة الأغشية بين العظمية للساعد والساق)انظر الأشكال 8.35، 8.41(وبواسطة الحواجز العضلية. فى الجداول التالية، ستجد عضلات الطرف العلوى مقسمة إلى حجرات أمامية وخلفية، وعضلات







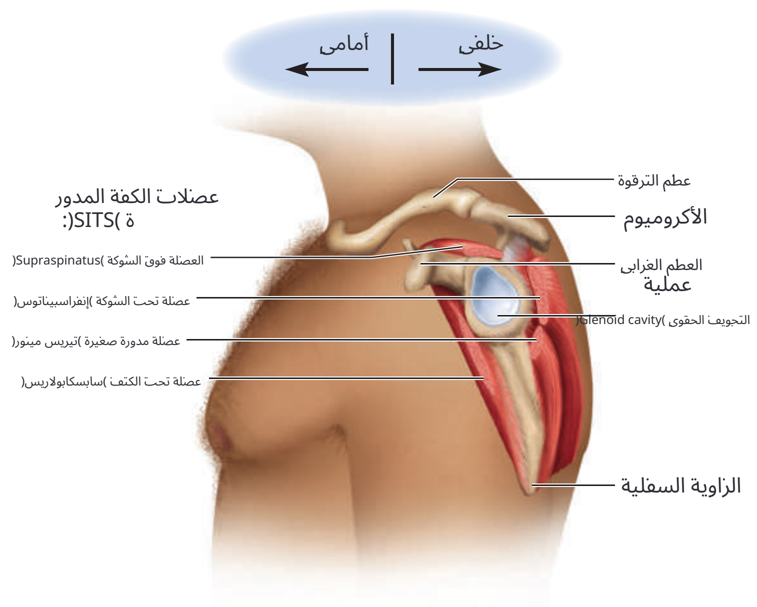
الشكل 10.23 حركات بعض عضلات الصدر على الكتف.)أ(الدوران الجانبى والوسيط.)ب(الرفع والخفض.)ح(السحب إلى الخلف والدفع إلى الأمام. لاحظ أن العضلة الواحدة يمكن أن تسهم فى عدة حركات، اعتمادًا على الألياف التى تنقبض والعضلات المتعاونة معها.

الاسم	الفعل	الارتباطات العظمية	التعصيب
الجدول 10.8	**العضلات المؤثرة على الكتف**		
المجموعة الأمامية			
العضلة الصدرية الصغيرة (PECK-toe-RAY-liss)	مع العضلة المسننة الأمامية، تسحب الكتف جانبياً وأمامياً حول جدار الصدر؛ مع عضلات أخرى، تدير الكتف وتخفض قمة الكتف، كما عند الانحناء لالتقاط حقيبة	• الأضلاع 3–5 واللفافة المغطية • النتوء الغرابى للكتف	الأعصاب الصدرية الوسطى والجانبية
المنشار الأمامى[58])سير-آى-تس(	مع العضلة الصدرية الصغيرة، يسحب الكتف جانبياً وأمامياً حول جدار الصدر؛ يدفع الكتف إلى الأمام، وهو المحرك الرئيسى فى جميع حركات الوصول الأمامى والدفع؛ يساعد فى تدوير الكتف لرفع قمة الكتف؛ يثبت الكتف أثناء اختطاف الذراع	• جميع الأضلاع أو معظمها • الحافة الوسطى للكتف	العصب الصدرى الطويل
المجموعة الخلفية			
العضلة شبه المنحرفة)ترا-بى-زى-أوس(	يثبت الكتف والكتف أثناء حركات الذراع؛ يرفع ويخفض قمة الكتف؛ يعمل مع عضلات أخرى لتدوير وسحب الكتف إلى الخلف)انظر أيضاً الأدوار فى حركات الرأس والرقبة فى الجدول 10.3(	• الناتئ القذالى الخارجى؛ الثلث الوسيط من الخط القذالى العلوى؛ الرباط القذالى؛ النتوءات الشوكية للفقرات C7–T12الأكروميوم وشوكة الكتف؛ الثلث الجانبى من الترقوة •	العصب الإضافى
الرافعة الكتفية)ليه-فاى-تور سكاب-يو-لى(	يرفع الكتف إذا كانت فقرات الرقبة ثابتة؛ يثنى الرقبة جانبياً إذا كان الكتف ثابتاً؛ يسحب الكتف إلى الخلف ويدعم الكتف؛ يدير الكتف ويخفض قمة الكتف	• النواتئ العرضية للفقرات C1–C4 • الزاوية العلوية إلى الحد الوسيط للوح الكتف	الأعصاب الشوكية C3–C4، و C5 عبر العصب الكتفى الخلفى
العضلة المعينية الصغرى)روم-بويد(	تسحب لوح الكتف وتدعم الكتف؛ تثبت لوح الكتف أثناء حركات الذراع	• النواتئ الشوكية للفقرات C7–T1؛ الرباط القذالى • الحد الوسيط للوح الكتف	العصب الكتفى الخلفى
العضلة المعينية الكبرى	نفس وظيفة العضلة المعينية الصغرى	• نتوءات شوكية للفقرات T2–T5 • الحد الوسيط للكتف	العصب الكتفى الخلفى

الشد والدفع)سحب الكتفين إلى الأمام والخلف(. العظمة الترقوية تدعم الكتف وتعدل هذه الحركات.

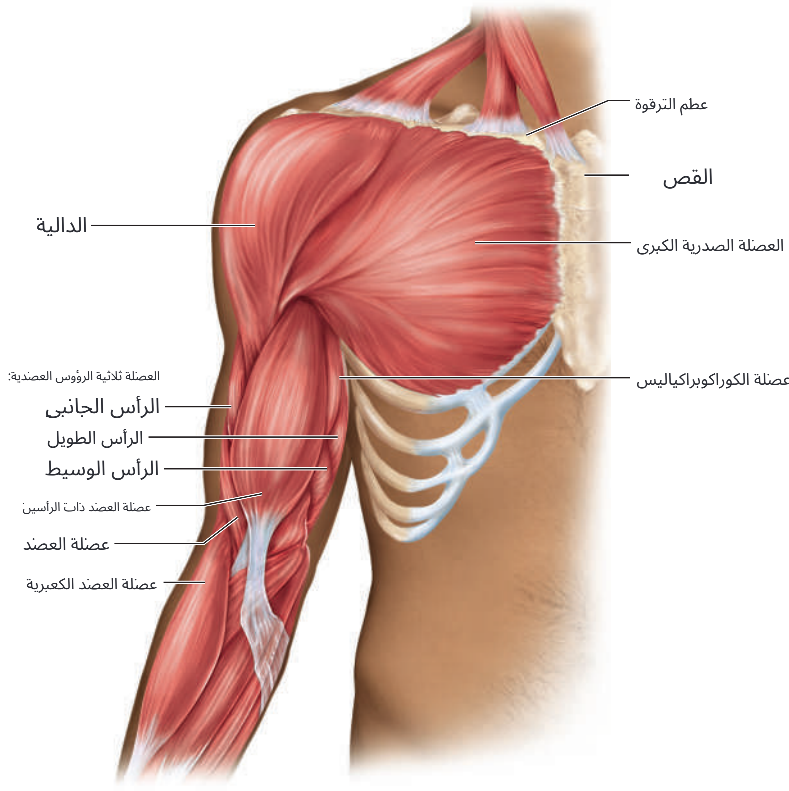
المجموعة الأمامية

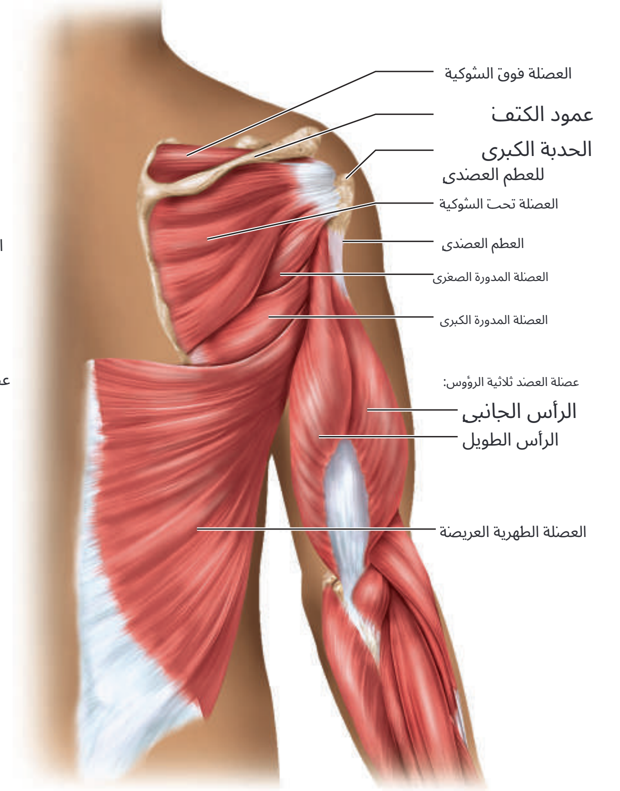
تقع عضلات حزام الصدر ضمن مجموعتين أمامية وخلفية)الشكلين 10.24، 10.25(. العضلات الرئيسية فى المجموعة الأمامية هى العضلة الصدرية الصغيرة والعضلة المنشارية الأمامية)انظر الشكل 10.16ب(. تنشأ العضلة الصدرية الصغيرة بثلاثة رؤوس من الأضلاع 3 إلى 5 وتتجمع على الناتئ الغرابى للكتف. تُلقب العضلة المنشارية الأمامية بـ "عضلة الملاكم" بسبب دورها فى حركات الدفع القوية للذراع مثل لكمة الملاكم. تنشأ من رؤوس منفصلة على جميع أو معظم الأضلاع، وتلتف جانبياً حول الصدر، وتمر عبر الظهر بين القفص الصدرى والكتف، وتنتهى على الحد الوسيط)العمودى(للكتف. لذلك، عند انقباضها، تنزلق الكتف جانبياً وأمامياً قليلاً حول الأضلاع.

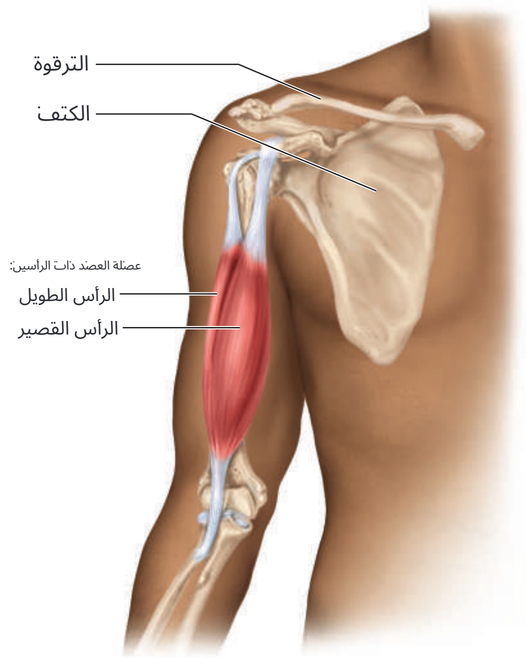


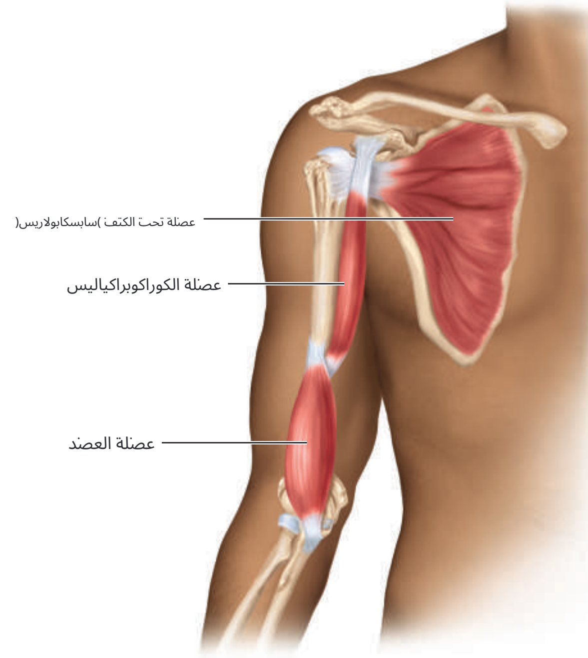
الشكل 10.24 عضلات الكفة المدورة بالنسبة للكتف)منظر جانبى(. لرؤية هذه العضلات من الخلف والأمام، انظر الشكل 10.25b و d.

[58] مسنن = مسنن، متعرج









الشكل 10.25 عضلات الصدر والذراع.)أ(العضلات السطحية، منظر أمامى.)ب(العضلات السطحية، منظر خلفى.)ح(العضلة ذات الرأسين العضدية، المثنية السطحية للمرفق.)د(عضلة العضد، المثنية العميقة للمرفق، وعضلتا الكوراكوبراكياليس و العضلة تحت الكتف، اللتان تؤثران على العضد. APR

تُكمل عضلتا المدور الكبير)teres major(والكوراكوبراكياليس)coracobrachialis(هذه ا لمجموعة)الشكل 10.25ب، د(.

العضلات المحورية

العضلتان المحوريتان، وهما بارزتان، هما العضلة الصدرية الكبرى من الأمام والعضلة الظهرية العريضة من الخلف)الشكل 10.25أ، ب؛ الشكل 10.26(. العضلة الصدرية الكبرى هي العضلة السميكة واللحمية في منطقة ال ثدي، والعضلة الظهرية العريضة هي عضلة واسعة في الظهر تمتد من الخصر إلى الإبط. تتحمل هذه العضلات المسؤولية الأساسية في ربط الذراع بالجذع وهي المحركات الرئيسية لمفصل الكتف.

10.4ح العضلات التي تؤثر على المرفق وا لساعد

المرفق والساعد قادران على أربع حركات—الثني، التمديد، التدوير الكفّي، والتدوير الظهري—تتم بواسطة عضلات في كل من العضد والساعد)الذراع والساعد(

)الجدول 10.10(.

عضلات منطقة العضد

العضلات الرئيسية المثنية للمرفق تقع في الحجرة الأمامية من الذراع—العضلة العضدية والعضلة ذات الرأسين العضدية)الشكل 10.25ح، د(. تظهر العضلة ذات الرأسين العضدية ككتلة أمامية كبيرة على الذراع و تحظى باهتمام كبير بين لاعبي كمال الأجسام، لكن العضلة العضدية ا لتي تقع تحتها تولد حوالي 50% من القوة أكثر، وبالتالي فهي المحركة الرئيسية لثني المرفق.
العضلة ذات الرأسين ليست فقط مثنية بل هي أيضًا مدورة كفّية قو ية للساعد. سُميت بهذا الاسم لوجود رأسين لها: *الرأس القصير* الذي ينشأ وتره من الناتئ الغرابي للكتف، و *الرأس الطويل* الذي ينشأ وتره من الحافة العلوية لتجويف الجلينويد، يلتف فوق الكتف، ويدعم الع ضد مقابل تجويف الجلينويد. يلتقي الرأسان بالقرب من المرفق على وتر وحيد بعيد ينتهي على عظم الكعبرة وعلى اللفافة في الجانب الإن سي من الساعد العلوي. لاحظ أن *biceps* هو المصطلح المفرد؛ لا توح د عضلة باسم *bicep*

العضلة ثلاثية الرؤوس العضدية هي عضلة ذات ثلاثة رؤوس على الح انب الخلفي من العضد، وهي المحركة الرئيسية لتمديد المرفق)الشكل 1 0.25ب(.

عضلات منطقة الساعد

تعمل معظم عضلات الساعد على الرسغ واليد، لكن اثنتين منها متعاو نتان في ثني وتمديد المرفق، وثلاث منها تعمل في التدوير الكفّي وال تدوير الظهري. العضلة العضدية الكعبرية هي الكتلة العضلية الكبيرة على الجانب الوحشي)الكعبرة(من الساعد مباشرة أسفل المرفق)ال شكل 10.25أ؛ انظر أيضًا الشكل 10.29أ(. تمتد من الطرف البعيد للع ضد إلى

المجموعة الخلفية

تشمل العضلات الخلفية التي تؤثر على الكتف العضلة الكبيرة السطح ية الترابيزيوس التي تم مناقشتها سابقًا)انظر الجدول 10.3(، وثلاث ع ضلات عميقة: الرافعة الكتفية، الرومبويد الصغرى، والرومبويد الكبرى. يعتمد عمل الترابيزيوس على ما إذا كانت أليافه العلوية أو الوسطى أو السفلية تنقبض وما إذا كان يعمل بمفرده أو مع عضلات أخرى. تقوم ا لرافعة الكتفية والألياف العلوية للترابيزيوس بتدوير الكتف في اتجاها ت متعاكسة إذا عمل أي منهما بمفرده. وإذا عملا معًا، تتوازن تأثيراته ما الدورانية المتعاكسة ويرتفع الكتف والكتف، كما عند رفع حقيبة من الأرض. يحدث هبوط الكتف بشكل رئيسي بسبب الجاذبية، لكن ال ترابيزيوس والعضلة المنشارية الأمامية يمكنهما خفضه بسرعة وقوة أ كبر، كما في السباحة، والطرق، والتجديف.

10.4ب العضلات التي تؤثر على الذراع

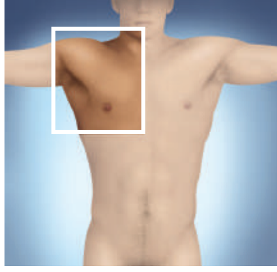
تعبر تسع عضلات مفصل الكتف وتلتحم بالعضد)الجدول 10.9(. سبعة منها تُعتبر *عضلات الكتف* لأنها تنشأ من الك تف، واثنتان أخريان تُعتبران *عضلات محورية* لأنها تنشأ بشكل رئي سي من الهيكل المحوري.

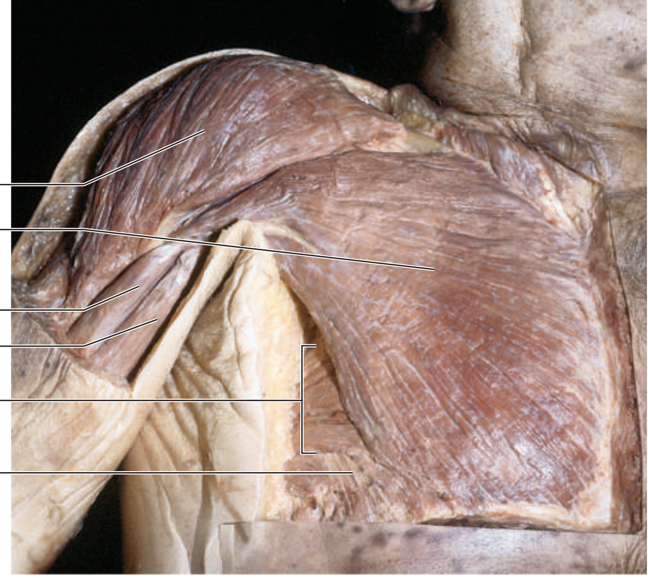
عضلات الكفة المدورة

تشكل الأوتار من أربعة من عضلات الكتف الكفة المدورة)الشكل 10. 24(، المعروفة جيدًا كموقع شائع للإصابات العضلية الهيكلية. يُطلق ع ليها لقب "عضلات SITS" نسبةً إلى الحروف الأولى من أسمائها — فوق الشوكة)supraspinatus(، تحت الشوكة)infraspinatus(، ال مدور الصغير)teres minor(، وتحت الكتف)subscapularis(. تقع العضلات الثلاث الأولى على الجانب الخلفي من الكتف)الشكل 10.2 5ب(. تشغل عضلتا فوق الشوكة وتحت الشوكة الحفر فوق وتحت ال شوكة، فوق وتحت عمود الكتف. تقع عضلة المدور الصغير أسفل ع ضلة تحت الشوكة. تشغل عضلة تحت الكتف الحفرة تحت الكتفية ع لى السطح الأمامي للكتف، بين الكتف والأضلاع)الشكل 10.25د(. ت ندمج أوتار هذه العضلات مع كبسولة مفصل الكتف أثناء عبورها في طريقها إلى العضد. تلتصق هذه الأوتار بالنهاية القريبة للعضد، مكونة غلافًا جزئيًا حوله. تعزز الكفة المدورة كبسولة المفصل وتمسك رأس ا لعضد في تجويف الجلينويد. تتعرض هذه الكفة بسهولة للضرر بسبب الحركات الشديدة للكتف)انظر التعمق 10.4(.

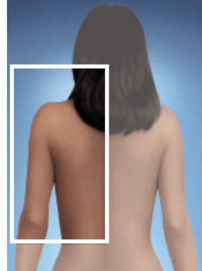
عضلات الكتف الأخرى

من بين عضلات الكتف الثلاث المتبقية، الأكثر بروزًا هي عضلة الدالية ، العضلة السميكة المثلثة التي تغطي الكتف)الشكل 10.25أ(. غالبًا م ا تُعطى الحقن الدوائية داخل العضلة هنا.
تعمل أليافها الأمامية والجانبية والخلفية كأنها ثلاث عضلات مختلفة.





)أ(منظر أمامى





)ب(منظر خلفى

الشكل 10.26 عضلات الصدر، العضد، والجزء العلوى من الظهر للجثة.)أ(منظر أمامى.)ب(منظر خلفى.

أ: ريبيكا غراى/ماكجرو هيل

الجدول 10.9	العضلات المؤثرة على الذراع		
الاسم	**الفعل**	**الارتباطات العظمية**	**التعصيب**
عضلات الكفة المدورة			
العضلة فوق الشوكة[59])سو-برا-سباى-ناى-تس(	تساعد العضلة الدالية فى اختطاف الذراع؛ تقاوم انزلاق رأس العضد للأسفل عندما تكون الذراع مسترخية أو عند حمل وزن	• حفرة فوق الشوكة فى الكتف • النتوء الأكبر لعظم العضد	العصب فوق ال كتف
العضلة تحت الشوكة[60])إن-فرا-سباى-ناتوس(	يضبط عمل العضلة الدالية، مانعًا رأس العضد من الانزلاق للأعلى؛ يدير العضد جانبياً	• حفرة تحت الشوكة فى الكتف • النتوء الأكبر للعضد	العصب فوق ال كتف
تيريس الصغرى)تيريس(	يضبط عمل العضلة الدالية، مانعًا رأس العضد من الانزلاق للأعلى أ ثناء تحريك الذراع جانبياً؛ يدير العضد جانبياً	• الحافة الجانبية والسطح الخلفى المجاور للكتفالنتوء الأكبر للعض د؛ السطح الخلفى لكبسولة المفصل	العصب الإبطى
تحت الكتف[61])ساب-سكاب-يو-لير-يس(	يضبط عمل العضلة الدالية، مانعًا رأس العضد من الانزلاق للأعلى أ ثناء تحريك الذراع جانبياً؛ يدير العضد داخلياً	• حفرة تحت الكتف فى الكتفالنتوء الأصغر للعضد؛ السطح الأمامى لكبسولة المفصل	العصب تحت الك تف العلوى والسفلى
عضلات الكتف الأخرى			
الدالية	الألياف الأمامية تثنى وتدير الذراع نحو الداخل؛ الألياف الجانبية تُبعد الذراع؛ الألياف الخلفية تمدد وتدير الذراع نحو الخارج؛ تشارك فى تأرجح الذراع أثناء أفعال مثل المشى أو الرمى، وفى تعديل ارتفاع اليد لمهام يدوية مختلفة	• الأكروميوم وشوكة الكتف؛ الترقوة • نتوء العضد الدالى	العصب الإبطى
العضلة المدورة الكبرى)تيريز(	تمدد وتدير العضد نحو الداخل؛ تساهم فى تأرجح الذراع	• الزاوية السفلية للكتفالحافة الوسطى للتجويف بين الحدبتين فى العضد	العصب تحت الكتف ا لسفلى
عضلة الكوراكوبراك ياليس)كور-أ-كو-برى-كى-أليس(	تثنى وتدير الذراع نحو الداخل؛ تقاوم انحراف الذراع عن المستوى الأمام ى أثناء الإبعاد	• النتوء الغرابى • الجانب الوسيط من عمود العضد	العصب العضلى الج لدى
العضلات المحورية			
العضلة الصدرية الكبرى (PECK-toe-RAY-liss)	تثنى، وتقرب، وتدير عظم العضد داخليًا، كما فى التسلق أو العناق؛ تساعد فى الشهيق العميق	• النصف الوسيط من الترقوة؛ الحافة الجانبية لعظم القص؛ غضاريف الأض لاع 1–7؛ اللفافة العريضة للعضلة الما ئلة الخارجية • الشفة الجانبية للأخدود بين الحدبتي ن لعظم العضد	العصب الصدرى الو سيط والجانبى
العضلة الظهرية العريضة[62] (la-TISS-ih-mus DOR-sye)	تقرب وتدير عظم العضد داخليًا؛ تبسط مفصل الكتف كما فى سحب مجاديف القارب؛ تُحدث حركة تأرجح ذراع إلى الخلف فى أفعال مثل المشى والبولينج؛ مع إمساك اليدين بأشياء فوق الرأس، تسحب ا لجسم إلى الأمام والأعلى، كما فى التسلق؛ تساعد فى الشهيق العم يق، والزفير المفاجئ مثل العطس والسعال، والزفير القسرى المطول كما فى الغناء أو النفخ فى آلة نفخ مستمرة النغمة	• الفقرات الصدرية السابعة إلى القطنية الخامسة؛ الا ضلاع الثلاثة أو الأربعة السفلية؛ الحدبة الحرقفية؛ ا للفافة الصدرية القطنية • قاعدة الأخدود بين الحدبتين لعظم العضد	العصب الصدرى ا لظهرى

▶▶▶ طبق ما تعرفه

قم بأداء حركة كما لو كنت ترفع كوبًا إلى فمك لتشرب رشفة من ا لشاى. وصف مساهمة عضلة الدلتويد فى هذا الفعل، باستخدام مصطلحات حركة المفصل فى القسم 9.2ح.

[59] *سوبرا* = فوق؛ *سبين* = عمود الكتف
[60] *إنفرا* = تحت، أسفل؛ *سبين* = عمود الكتف
[61] *ساب* = تحت، أسفل
[62] *لاتيسيموس* = الأعرض؛ *دورسى* = الظهر

النهاية البعيدة لعظم الكعبرة. مع هذا الارتباط البعيد جدًا عن محور الكوع، لا يولد قوة كبيرة مثل العضلة العضدية والعضلة ذات الرأسين؛ فهو فعال بشكل رئيسى عندما تكون تلك العضلات قد ثنت الكوع جزئيًا بالفعل. العضلة الزندية هى متعاون ضعيف فى تمديد الكوع على الجانب الخلفى من الكوع (انظر الشكل 10.30).

الاستلقاء والتدوير هما حركتان مهمتان للساعد لأغراض مثل الأكل، والتلاعب بالأشياء وفحصها باليدين، وتوليد القوة فى حركات الالتواء لليد (انظر الشكل 9.18). المحرك الرئيسى للاستلقاء هو العضلة المستلقية المربعة بالقرب من المعصم؛ العضلة المستلقية المدورة بالقرب من الكوع هى متعاونة. عادةً ما يتم تحقيق التدوير بواسطة العضلة المدورة فى الجزء العلوى من الساعد، مع مساعدة العضلة ذات الرأسين عندما تكون هناك حاجة إلى سرعة أو قوة إضافية (الشكل 10.27).



نظرة أعمق 10.4

التطبيق السريرى

إصابة الكفة المدورة

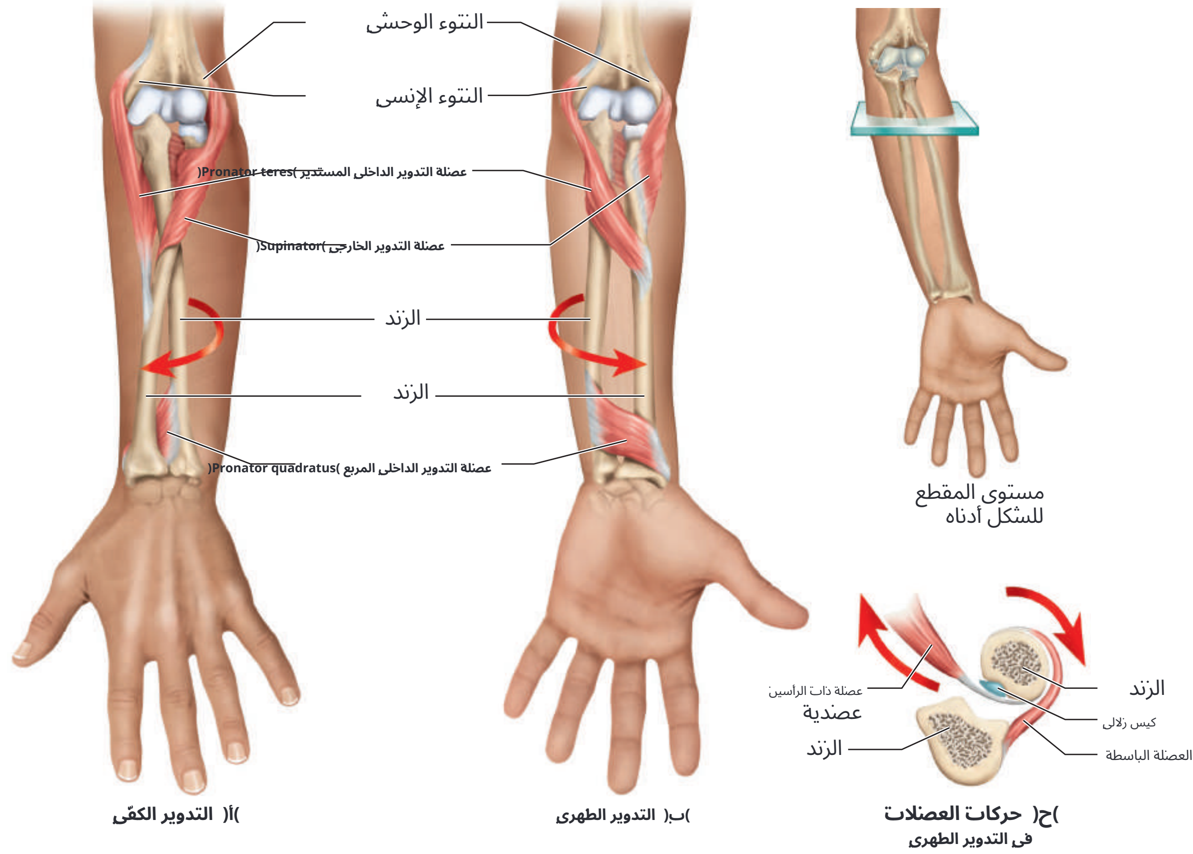
إصابة الكفة المدورة هى تمزق فى وتر أى من عضلات SITS (الكفة المدورة)، وغالبًا ما يكون فى عضلة السوبراسبيناتوس. تحدث هذه الإصابات بسبب دوران الذراع الشديد، خلع الكتف، السقوط القوى أو الضربات على الكتف، أو الاستخدام المتكرر للذراع فى وضع فوق الأفقى. وهى شائعة بين رماة البيسبول ولاعبى القاعدة الثالثة، والبولينج، والسباحين، ورافعى الأثقال، وفى رياضات المضرب. يمكن أن يسبب الالتهاب المتكرر لوتر SITS تدهور الوتر ثم تمزقه استجابةً لإجهاد متوسط.

يسبب الإصابة الألم ويجعل مفصل الكتف غير مستقر ومعرضًا للخلع.

الجدول 10.10 العضلات المؤثرة على الكوع والساعد

الاسم	الفعل	الارتباطات العظمية	التعصيب
عضلات منطقة العضد			
العضلة العضدية (BRAY-kee-AY-lis)	المحرك الرئيسى لثنى الكوع	• السطح الأمامى للنصف البعيد من العضد • النتوء الإكليلى والحدبة لعظم الزند	العصب العضلى الجلدى؛ العصب الكعبرى
عضلة العضد ذات الرأسين (بايسبس براى-كى-آى)	الاستلقاء السريع أو القوى لساعد اليد؛ متعاون فى ثنى المرفق؛ ثنى بسيط للكتف؛ وتر الرأس الطويل يثبت الكتف عن طريق تثبيت رأس العضد ضد تجويف الجلد	• الرأس الطويل: الحافة العلوية لتجويف الجلد الرأس القصير: الناتئ الغرابى • نتوء العضد؛ اللفافة فى الساعد	العصب العضلى الجلدى
عضلة العضد ثلاثية الرؤوس (ترايسبس براى-كى-آى)	يبسط المرفق؛ الرأس الطويل يبسط ويقرب العضد	• الرأس الطويل: الحافة السفلية لتجويف الجلد وكبسولة المفصل الرأس الجانبى: السطح الخلفى للنهاية القريبة من العضد الرأس الإنسى: السطح الخلفى لكامل عمود العضد • العظم الزندى؛ اللفافة فى الساعد	العصب الكعبرى
عضلات منطقة الساعد			
عضلة العضد الكعبرى (براى-كى-أو-راى-دى-أليس)	تثنى المرفق	• الحافة فوق اللقيمة الوحشية لعظم العضدالسطح الوحشى لعظم الكعبرة بالقرب من النتوء الإبرى	العصب الكعبرى
عضلة المرفق[63] (أن-كو-نى-أوس)	تمديد المرفق؛ قد تساعد فى التحكم بحركة العصب الزندى أثناء الاستلقاء الكفى	• اللُقيمة الوحشية لعظم العضد • النتوء الزندى والسطح الخلفى لعظم الزند	العصب الكعبرى
عضلة الباسطة الرباعية (برو-ناى-تور كواد-راى-توس)	المحرك الرئيسى لاستلقاء الساعد؛ كما تقاوم انفصال عظم الكعبرة والزند عند تطبيق قوة على الساعد عبر المعصم، كما فى تمارين الضغط	• السطح الأمامى للزند البعيد • السطح الأمامى للكعبرة البعيدة	العصب المتوسط
العضلة الباسطة للساعد (برو-ناى-تور تيريز)	تساعد عضلة الباسطة الرباعية فى التدوير الكفّى، ولكن فقط فى الحركة السريعة أو القوية؛ تثنى المرفق بشكل ضعيف	• عمود العضد بالقرب من اللقيمة الوسطى؛ النتوء الإكليلى لعظم الزند • السطح الجانبى لعمود الكعبرة	العصب المتوسط
العضلة الباسطة (سو-بى-ناى-تور)	تدور الساعد إلى وضعية الكف للأعلى (تدوير كفّى)	• اللقيمة الجانبية للعضد؛ حدبة الباسطة وحفرة الزند أسفل قليلاً من النتوء الكعبرى؛ الأربطة الجانبية الحلقية والكعبرية للمرفق • ثلث القريب من عظم الكعبرة	العصب الكعبرى

[63] العضلة المثلثية = المرفق



الشكل 10.27 حركات عضلات الدوار على الساعد الأيسر.)أ(التدوير الداخلى.)ب(التدوير الخارجى.)ح(مقطع عرضى أسفل المرفق مباشرة يُظهر العمل ال تعاونى لعضلة العضد ذات الرأسين وعضلة التدوير الخارجى عند الحاجة إلى سرعة أو قوة إضافية.)عضلة العضد ذات الرأسين غير موضحة فى "أ" أو "ب" لأنها ستغطى تلك العضلات.(

ماذا تشير أسماء عضلات التدوير الداخلى المستدير)pronator teres(والتدوير الداخلى المربع)pronator quadratus(إلى أشكالها؟

وتشكل المفاصل بين السلاميات الثانية والثالثة المفاصل الثانية وال ثالثة. تعبر بعض الأوتار عدة مفاصل قبل أن تلتصق بالسلامية الوسط ى أو البعيدة، ويمكنها ثنى أو فرد جميع المفاصل التى تعبرها.

تقسم اللفافات عضلات الساعد إلى حجيرات أمامية وخلفية، وك ل حجيرة إلى طبقات سطحية وعميقة)الشكل 10.28(. تُوصف الع ضلات فى هذه المجموعات الأربع فى الأقسام التالية.

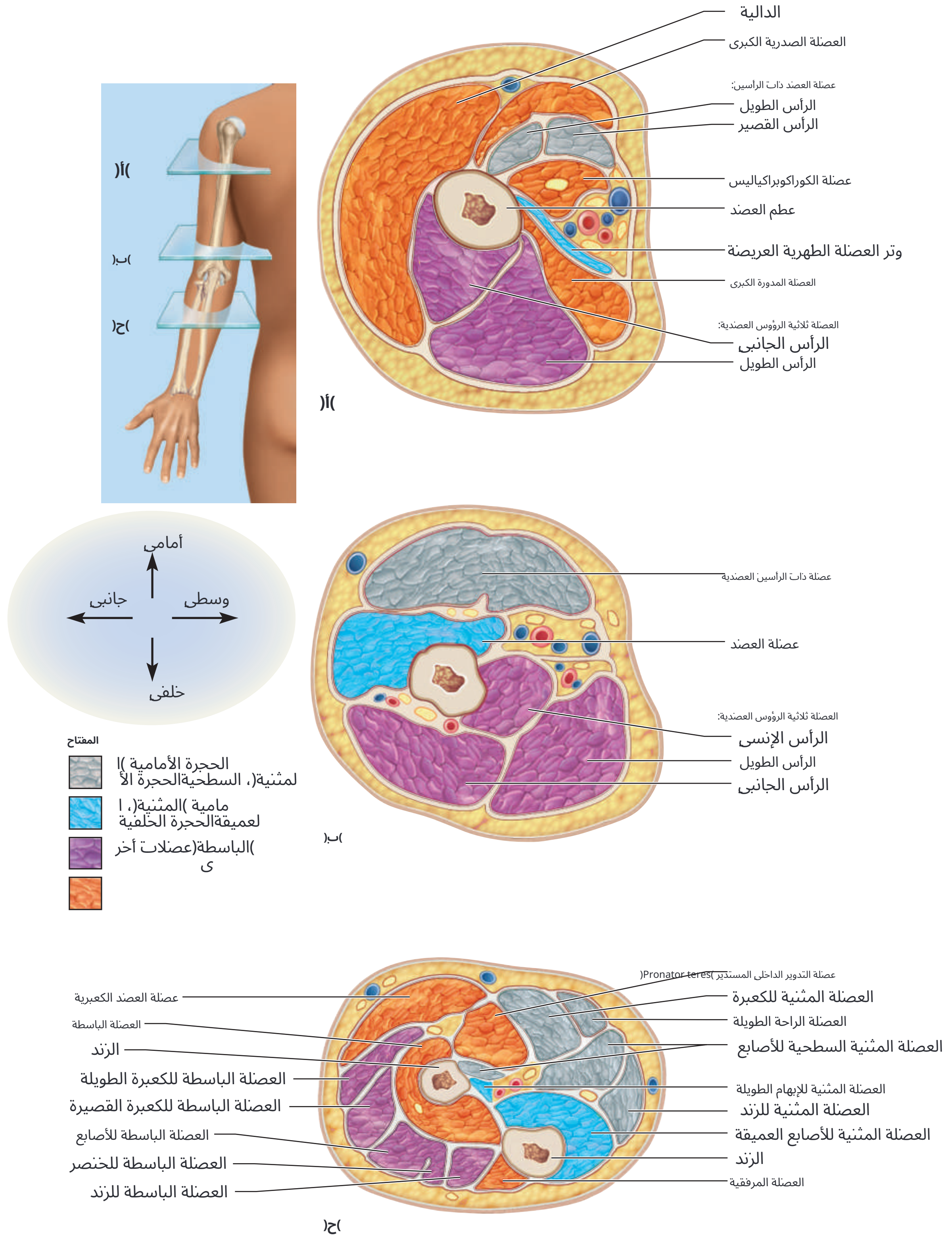
الحجرة الأمامية)العضلات المثنية(، الطبقة السطحية

معظم عضلات الحجرة الأمامية هى مثنيات المعصم والأصابع التى تنشأ من وتر مشترك على عظم العضد
)الشكل 10.29(. الوتران البارزان اللذان يمكنك لمسهما عند المعصم ينتميان إلى العضلة الكفارية الطويلة)palmaris longus(على الجانب الإنسى و العضلة الم ثنية للكعبرة)flexor carpi radialis(على الجانب الوحشى)انظر الشكل B.19a(.
الأخير هو علامة مهمة للعثور على العظم الكعبرى

10.4د العضلات التى تؤثر على المعصم واليد

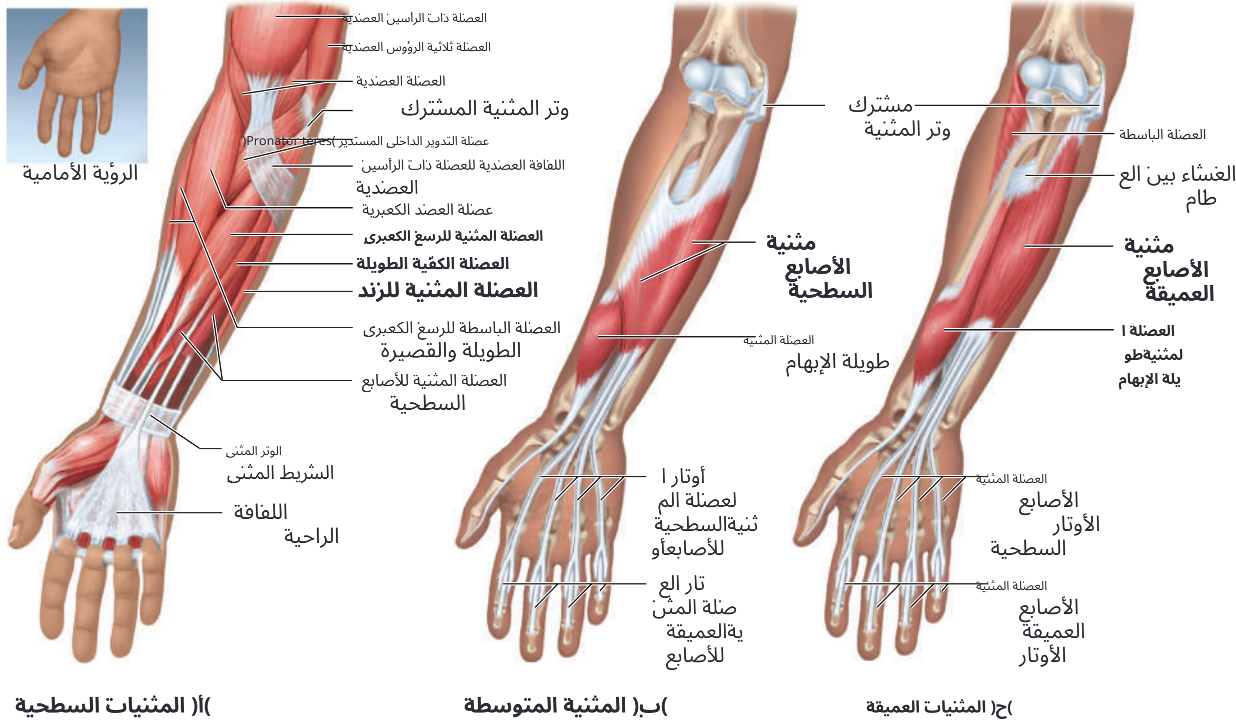
تتأثر اليد بعضلات خارجية فى الساعد
)الجدول 10.11(والعضلات الجوهرية فى اليد نفسها. تشكل بطون ال عضلات الخارجية، إلى جانب العضلة العضدية الكعبرية)brachiora dialis(، الانتفاخ اللحمى المستدير فى الجزء العلوى م ن الساعد؛ وتمتد أوتارها إلى المعصم واليد. تتمثل وظائفها بشكل رئ يسى فى ثنى وتمديد المعصم والأصابع، ولكنها تشمل أيضًا الثنى ال شعاعى والزندانى، وإبعاد وتقريب الأصابع، ومعارضة الإبهام. هذه الع ضلات عديدة ومعقدة، لكن أسماؤها غالبًا ما تصف موقعها ومطهرها ووظيفتها.

يعمل العديد منها على مفاصل الميتاكاربو-فالنجيال بين عظام ا لميتاكاربال فى اليد والفالانجات القريبة للأصابع، وعلى مفاصل الإنتر فالنجيال بين الفالانجات القريبة والوسطى أو الوسطى والبعيدة للأصا بع)أو بين الفالانجات القريبة والبعيدة فى الإبهام، الذى لا يحتوى على فالانكس وسطى(. تشكل مفاصل الميتاكاربو-فالنجيال العقد عند قوا عد الأصابع،



الشكل 10.28 مقاطع عرضية متسلسلة عبر الطرف العلوى الأيسر. كل مقطع مأخوذ عند المستوى المشار إليه بالحرف المقابل فى الشكل على اليسار ومصوّر بحيث يكون الحيز العضلى الخلفى مواجهًا لأسفل الصفحة، كما لو كنت تنظر إلى الطرف الأيسر لشخص ممدود بعيدًا عنك وكف يده متجه للأعلى.)أ(الجزء العلوى من الذراع عند الإبط.)ب(الجزء السفلى من الذراع.)ج(الجزء العلوى من الساعد.

لماذا لا تُرى العضلة الباسطة للإبهام الطويلة والعضلة الباسطة للإصبع السبابة فى الجزء)ج(؟



الشكل 10.29 المثنيات فى الرسغ واليد. الصور الأمامية للساعد الأيمن.)أ(المثنيات السطحية.)ب(المثنى المتوسط digitorum superficialis، العميق تحت العضلات فى الجزء)أ(.)ح(المثنيات العميقة. عضلات المثنى فى كل حجرة موسومة بالخط العريض.

APR

الحجرة الخلفية)الممددة(، الطبقة السطحية

العضلات السطحية فى الحجرة الخلفية هى فى الغالب ممددات الرسغ والأصابع، وتشارك وترًا واحدًا ينشأ من العضد)الشكل 10.30أ(. أول هذه العضلات هو extt{extensor digitorum}، الذى له أربعة أوتار بعيدة يمكن رؤيتها بسهولة ولمسها على ظهر اليد عند تمديد الأصابع بقوة)انظر الشكل B.19ب(. تمر هذه الأوتار تحت شريط ممدد)انظر الشكل 5.13(مشابه للشريط المثنى على الجانب الأمامى من الرسغ. تخدم هذه العضلة الأصابع الثانية إلى الخامسة، وكل عضلة أخرى فى هذه المجموعة تخدم إصبعًا واحدًا. تم جدولتها هذه الممددات السطحية فى الجدول 10.11 من الجانبى إلى الوسيط.

الحجرة الخلفية)الباسطة(، الطبقة العميقة

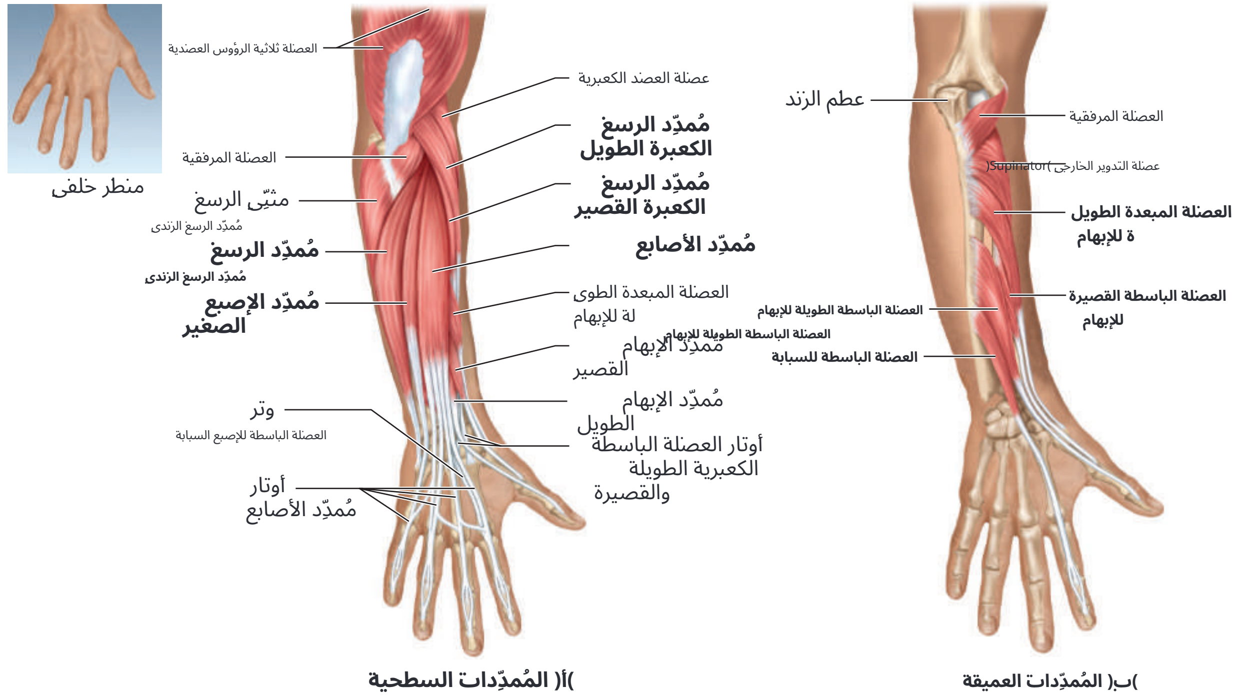
العضلات العميقة التالية تخدم فقط الإبهام والسبابة)الشكل 10.30 ب(. من خلال تحريك الإبهام بقوة إلى الخارج وبسطه فى وضعية "الرافع"، قد ترى حفرة عميقة على الجانب الظهرى الوحشى فى قاعدة الإبهام، مع وتر مشدود على كل جانب منها)انظر الشكل ب.19ب(. تُسمى هذه التجويف *الصندوق الأنفى التشريحى* لأنه كان من المعتاد وضع قليل من المسحوق الأنفى هنا واستنشاقه. يحدها من الجانب الوحشى أوتار العضلة المبعدة الطويلة للإبهام و العضلة الباسطة القصيرة للإبهام، ومن الجانب الإنسى وتر العضلة الباسطة الطويلة للإبهام. تخصيص هذا العدد الكبير من العضلات للإبهام فقط)الذى يشير إليه مصطلح *pollicis*(يدل على الأهمية القصوى للإبهام فى الكثير من وظائف اليد؛

الشريان، حيث يُؤخذ النبض عادةً. وتر palmaris longus غائب على جانب واحد أو كلا الجانبين)غالبًا الجانب الأيسر(فى حو 14% من الناس. للتحقق مما إذا كان لديك واحد، قم بثنى رسغك ووصل أطراف إبهامك وخنصرك معًا. إذا كان موجودًا، سيبرز وتر palmaris longus بوضوح على الرسغ.

تمر معظم أوتار هذه العضلات المثنية تحت رباط ليفى يشبه السوار يُسمى الشريط المثنى على الجانب الأمامى من الرسغ؛ على عكس البقية، يمر وتر palmaris longus فوقه. يمنع الشريط المثنى الأوتار من الارتفاع مثل أوتار القوس المشدودة عند انقباض المثنيات. النفق الرسغى هو مساحة ضيقة بين الشريط المثنى وعظام الرسغ. الأوتار المثنية التى تمر عبر النفق محاطة بأغلفة وترية تتيح لها الانزلاق ذهابًا وإيابًا بسهولة، رغم أن الحركة المتكررة المستمرة لهذه الأوتار قد تسبب الالتهاب المؤلم المعروف بـ*متلازمة النفق الرسغى*)انظر التعموق 10.5(.

الحجرة الأمامية)المثنية(، الطبقة العميقة

تشكل عضلتان مثنيتان أماميتان الطبقة العميقة — flexor digitorum profundus، التى تثنى الأصابع الثانية إلى الخامسة، وflexor pollicis longus، التى تثنى الإبهام فقط)الشكل 10.29ح(. الأخيرة هى واحدة من عدة عضلات تخدم حركات الإبهام المتنوعة مثل الثنى، والتمديد، والإبعاد، والإضافة، والمعارضة، وإعادة الوضع)انظر الشكل 9.21(.



الشكل 10.30 الباسطات للمعصم واليد. المناظر الخلفية للساعد الأيمن. عضلات الباسطة في كل حجرة معلمة بالخط العريض.)أ(الباسطات السطحية.)ب(الباسطات العميقة. APR

الجدول 10.11 العضلات التي تؤثر على الرسغ واليد

الاسم	الفعل	الارتباطات العظمية	التعصيب
الحجرة الأمامية)العضلات المثنية(، الطبقة السطحية			
العضلة المثنية للكعبرة[64] (فليكس-أور كار-باي راي-دي-آي-ليس)	تثني الرسغ إلى الأمام؛ تساعد في الانثناء الكعبرية للرسغ	• الحدبة الوسطية لعظم العضد • قاعدة العظام المشطية II–III	العصب المتوسط
العضلة المثنية للرسغ الزندية[65] (ul-NAY-ris)	يثني المعصم إلى الأمام؛ يساعد في ثني المعصم نحو الزند	• الحدبة الوسطى لعظم العضد؛ الهامش الوسيط لعظم الزند؛ السطح الخلفي لعظم الزند • العظم المشطي الخامس؛ عظم البيزيفورم؛ عظم الهامات	العصب الزندي
العضلة المثنية للأصابع السطحية[66] (DIDJ-ih-TOE-rum SOO-per-FISH-ee-AY-lis)	يثني المعصم، والمفاصل المشطية السلامية، والمفاصل بين السلاميات حسب عمل العضلات الأخرى	• الحدبة الوسطى لعظم العضد؛ الرباط الجانبي الزندي؛ النتوء الإكليلي؛ النصف العلوي من عظم الكعبرة • السلاميات الوسطى II–V	العصب المتوسط
العضلة الكفّية الطويلة (pal-MERR-iss)	تثبت الجلد واللفافة في منطقة الكف؛ تقاوم قوى القص عند تطبيق الضغط على الجلد من خلال أفعال مثل التسلق واستخدام الأدوات. ضعيفة التطور وأحيانًا غائبة.	• الحدبة الوسطى لعظم العضدالرباط • المثنى، اللفافة الكفّية	العصب المتوسط

)مستمر(

[64] الكعبرية = من الرسغ؛ الكعبرية = من عظم الكعبرة
[65] الزندية = من عظم الزند
[66] ديجيتوروم = للأصابع؛ سوبرفيشاليس = سطحي، قريب من السطح

التعصيب	الارتباطات العظمية	الفعل	الاسم
الحجرة الأمامية)العضلات المثنية(، الطبقة العميقة			
العصب المتوسط؛ العصب الزندى	• الثلاثة أرباع القريبة من عظم الزند؛ ا لنتوء الإكليلى؛ الغشاء بين العظام • العظام السلاميات البعيدة II–V	تثنى الرسغ، مفاصل السلاميات المشطية السلاميات، ومفاصل ال سلاميات البعيدة؛ العضلة الوحيدة المثنية لمفاصل السلاميات ا لبعيدة	العضلة المثنية العميقة للأصابع[67]
العصب المتوسط	• عظم الكعبرة؛ الغشاء بين العظام • السلامية البعيدة I	تثنى السلاميات للإبهام	العضلة المثنية للإبهام[68] الطويلة)باهل-إيسيس(
الحجرة الخلفية)الباسطة(، الطبقة السطحية			
العصب الكعبرى	• الحافة فوق اللقيمة الوحشية لعظم العضد • قاعدة المشط الثانى	تمدد المعصم؛ تساعد فى انثناء المعصم نحو الكعبرة	العضلة الباسطة لعظم الكعبرة الطويلة
العصب الكعبرى	• النتوء الوحشى لعظم العضد • قاعدة المشط الثالث	تمدد المعصم؛ تساعد فى انثناء المعصم نحو الكعبرة	العضلة الباسطة لعظم الكعبرة القصيرة)بريف-إيس(
العصب الكعبرى	• النتوء الوحشى لعظم العضد • الأسطح الظهرية للسلاميات الثانية إلى الخامسة	تبسط المعصم ومفاصل المشط السلامى والم فاصل بين السلاميات؛ تميل إلى تفريق الأصابع عند تبس يط مفاصل المشط السلامى	العضلة الباسطة للأصابع
العصب الكعبرى	• النتوء الوحشى لعظم العضد • السلامية القريبة الخامسة	تبسط المعصم وجميع مفاصل الإصبع الصغير	العضلة الباسطة للإصبع الصغير[69] (DIDJ-ih-ty MIN-ih-my)
العصب الكعبرى	• النتوء الوحشى لعظم العضد؛ السطح الخلفى لعمود عظم الزند • قاعدة المشط الخامس	تبسط وتثبت المعصم عند قبض القبضة أو إمساك اليد لجسم ما؛ تساعد فى انثناء المعصم نحو الزند	العضلة الباسطة لعظم الزند فى المعصم
الحجرة الخلفية)الباسطة(، الطبقة العميقة			
العصب الكعبرى	• السطوح الخلفية لعظم الكعبرة و عظم الزند؛ الغشاء بين العظميالعظام ا لمربع؛ قاعدة العظم المشطى الأول •	تبعد الإبهام فى المستوى الأمامى)الراحى( )الابتعاد ا لشعاعى(؛ تبسط الإبهام عند مفصل الرسغ المشطى	العضلة الباسطة للإبهام الطويلة
العصب الكعبرى	• جذع عظم الكعبرة؛ الغشاء بين العظمى • الفقرة القريبة الأولى	تبسط العظم المشطى الأول والفقرة القريبة من الإ بهام	العضلة الباسطة القصيرة للإبهام
العصب الكعبرى	• السطح الخلفى لعظم الزند؛ ا لغشاء بين العظميالفقرة ال بعيدة الأولى •	تبسط الفقرة البعيدة الأولى؛ تساعد فى تبسيط الفقرة القر يبة الأولى والعظم المشطى الأول؛ تقرب وتدير الإبهام ج انبياً	العضلة الباسطة الطويلة للإبهام
العصب الكعبرى	• السطح الخلفى لعظم الزند؛ الغشاء بين ا لعظام • العظام الوسطى والنهائية للسبابة	يمدّ الرسغ والسبابة	مُمدِّد السبابة (IN-dih-sis)

دقة. وتنقسم إلى ثلاث مجموعات: مجموعة *التينار* عند قاعدة الإبهام، مجموعة *الهيبوثينار* عند قاعدة الإصبع الصغير، و مجموعة *منتصف راحة اليد* بينهما)الشكل 10.32(.

مجموعة التينار

تشكل مجموعة عضلات الإبهام)thenar group(الكتلة اللحمية ال سميكة)thenar eminence(عند قاعدة الإبهام، وتشكل عضلة مقر بة الإبهام)adductor pollicis(الحفرة بين الإبهام وكف اليد. جميعها معنية بحركات الإبهام. تمتلك عضلة مقربة الإبهام رأسًا مائلاً يمتد من عظم الكابيتات)capitate(فى المعصم إلى

حاول أن تتخيل كم سيكون أداؤك أقل بكثير بدون الإبهام وهذه العض لات.

10.4e العضلات الداخلية لليد

العضلات الداخلية لليد)الجدول 10.12(تساعد العضلات المثنية والمُ مددة فى الساعد وتجعل حركات الأصابع أكثر

---

[67] profundus = عميق
[68] pollicis = للإبهام
[69] digit = إصبع؛ minim = الأصغر



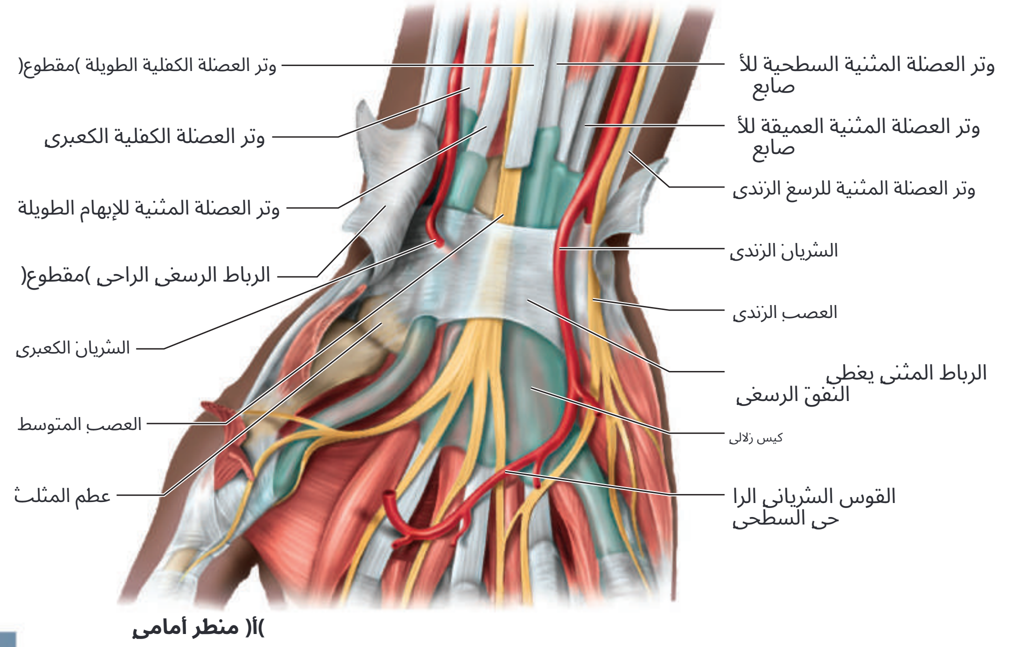
رؤية أعمق 10.5

التطبيق السريرى

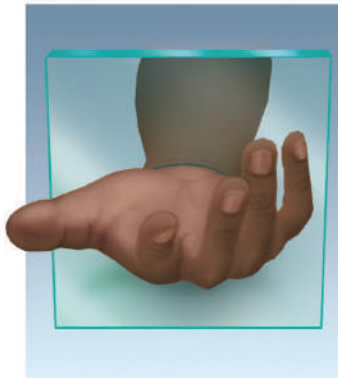
متلازمة النفق الرسغى

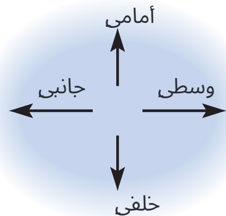
يمكن للحركات المتكررة والمطولة للمعصم والأصابع أن تسبب التهابًا أو تورمًا أو تليفًا فى الأنسجة داخل النفق الرسغى. ونظرًا لأن النفق الرسغى لا يمكن أن يتمدد، فإن التورم يضغط على العصب المتوسط فى المعصم، الذى يمر عبر النفق الرسغى مع أوتار المثنية)الشكل 10.31(. هذا الضغط يسبب وخزًا وضعفًا عضليًا فى راحة اليد والجانب الوسيط من اليد وألمًا قد ينتشر

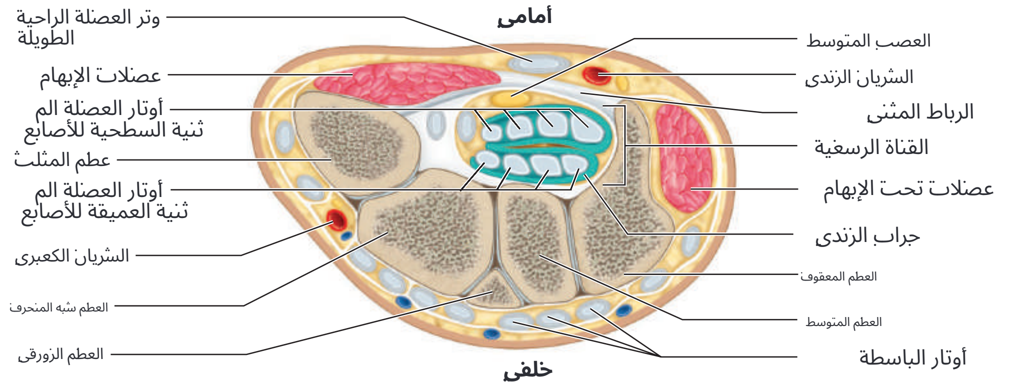
إلى الذراع والكتف. تُعرف هذه الحالة باسم متلازمة النفق الرسغى، وهى شائعة بين مستخدمى لوحات المفاتيح، وعازفى البيانو، وجزارين اللحوم، وغيرهم ممن ى قضون ساعات طويلة فى أداء حركات معصم متكررة. تُعالج متلازمة النفق الرسغ ى باستخدام الأسبرين وأدوية مضادة للالتهاب، وتثبيت المعصم، وأحيانًا عن طرى ق تقسيم الرباط المثنى بشق طولى لتخفيف الضغط على العصب.



)أ(منظر أمامى

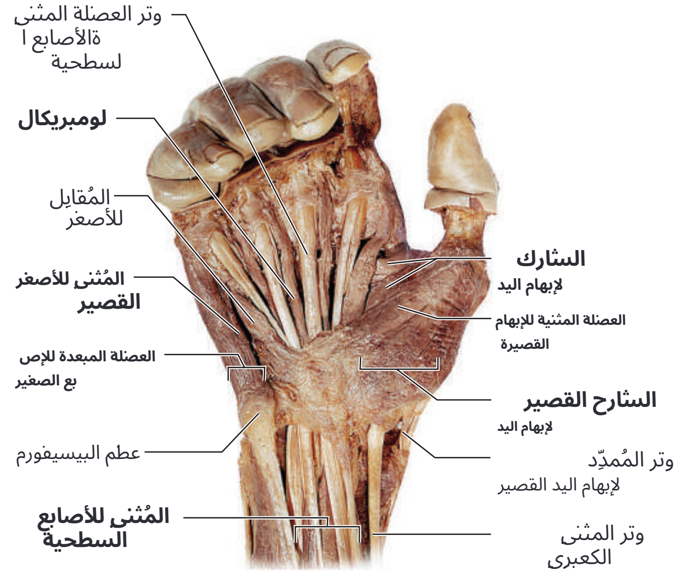




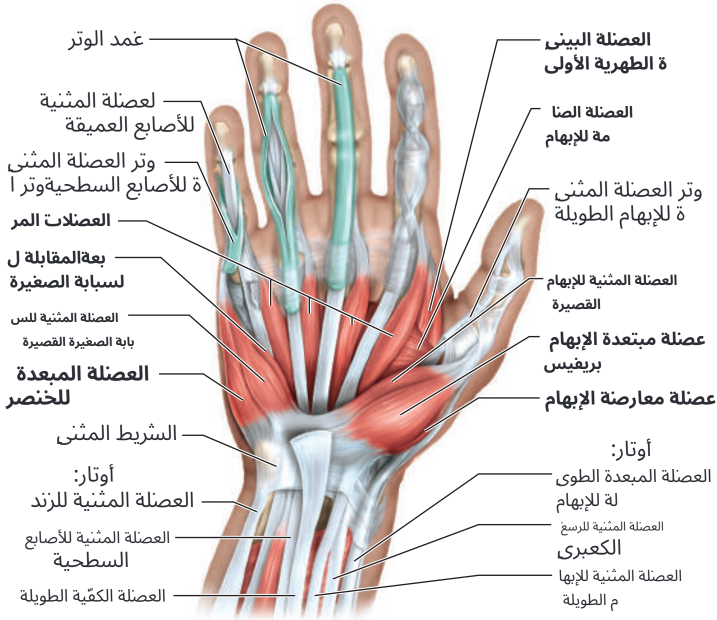


ب(المقطع العرضى

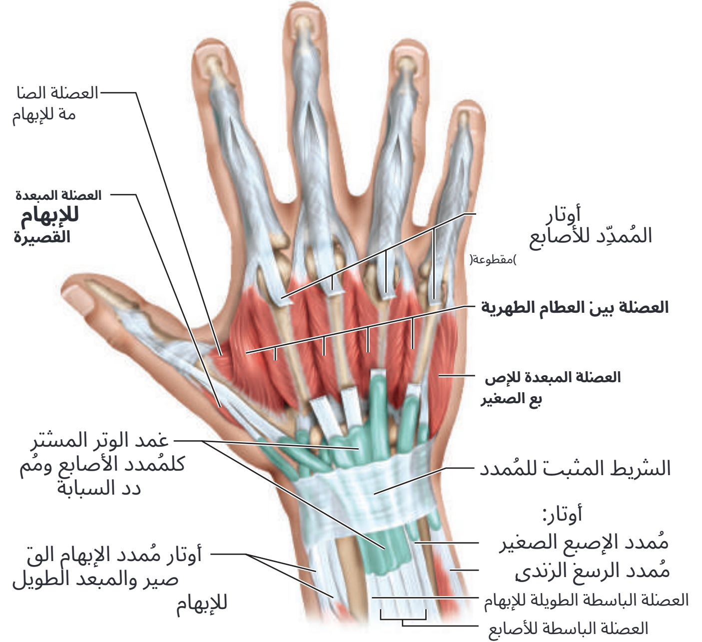
الشكل 10.31 النفق الرسغى.)أ(تشريح المعصم الأيمن)منظر أمامى(يُظهر الأوتار، والعصب، والأكياس الزلالية التى تمر تحت الرباط المثنى.
ب(المقطع العرضى لمعصم اليد اليمنى، يُرى كما لو من الطرف البعيد لساعد الشخص الممتد نحوك وكف اليد متجه للأعلى. APR
لاحظ كيف أن أوتار المثنية والعصب المتوسط محصورون فى المساحة الضيقة بين عظام الرسغ والرباط المثنى. هذا التعبئة الضيقة والانزلاق المتكرر لأوتار الم ثنية عبر النفق يساهمان فى متلازمة النفق الرسغى.



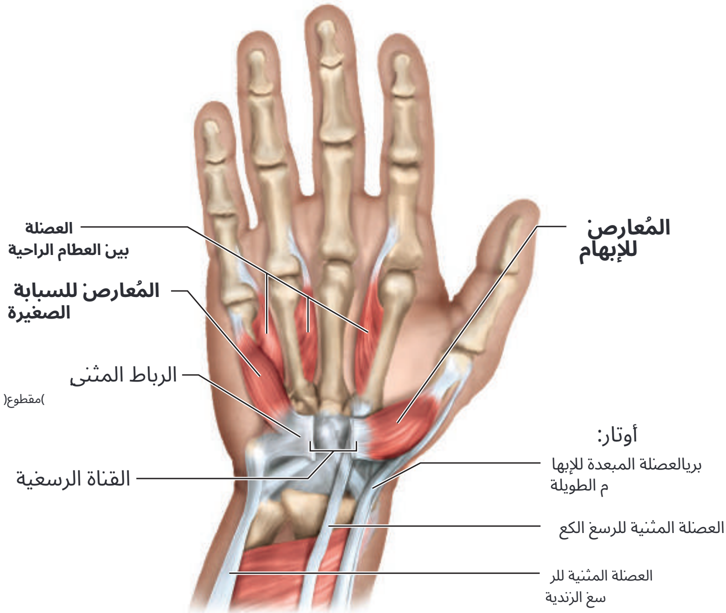
ب(تشريح راحى، سطحى



أ(الجانب الراحى، سطحى



د(الجانب الطهرى



ح(الجانب الراحى، عميق

الشكل 10.32 العضلات الجوهرية لليد اليمنى.)أ(العضلات السطحية للجانب الراحى.)ب(تشريح منطقة الراحة لليد الجثة.)ح(العضلات العميقة للجانب الراحى.)د(عضلات الجانب الطهرى. تشير التسميات الغامقة فى الأجزاء)أ(،)ح(، و)د(إلى العضلات التى تنتمى إلى الطبقات المعنية. APR

ب: ريبيكا غراى/دون كينكيد/ماكجرو هيل

TABLE 10.12	العضلات الداخلية لليد		
الاسم	**الفعل**	**الارتباطات العظمية**	**التعصيب**
مجموعة الثينار			
عضلة مقربة الإبهام	تجذب الإبهام نحو راحة اليد كما فى إمساك أداة	• العظم المتوسط؛ قواعد المشط الثانى وا لثالث؛الأربطة الأمامية للمعصم؛ غمد و ترالعضلة المثنية للكعبرة •	العصب الزندى
العضلة المبعدة للإبهام القصيرة	تبعد الإبهام فى المستوى السهمى	• الرباط المثنى بشكل رئيسى؛ وأيضًا العظم ا لزورقى، العظم المربع، ووتر العضلة المبعدة الطويلة للإبهام • السطح الجانبى للفقرة القريبة الأولى	العصب المتوسط
العضلة المثنية للإبهام القصيرة	تثنى مفصل المشط السلامى للإبهام	• العظم المربع؛ العظم المثلث؛ العظم المتوسط؛ الأربطة الأمامية للمعصم؛ ا لرباط المثنى • الفقرة القريبة الأولى	العصب المتوسط؛ العصب الزندى
العضلة المعاكسة للإبهام (op-PO-nenz)	تثنى المشط الأول لمعاكسة الإبهام إلى أطراف الأصابع	• المثلث؛ الرباط المثنى • المشط الأول	العصب المتوسط
مجموعة الهيبوثينار			
العضلة المبعدة للإصبع الصغير	تبعد الإصبع الصغير، كما فى نشر الأصابع بعيدًا عن بعضها	• عظم البيسيفورم؛ وتر العضلة المثنية للرسغ الزندى • السطح الإنسى للفقرة القريبة الخامسة	العصب الزندى
العضلة المثنية القصيرة للإصبع الصغير	تثنى الإصبع الصغير عند مفصل السلامى الرسغى	• خطاف عظم الهامات؛ الرباط المثنى • السطح الإنسى للفقرة القريبة الخامسة	العصب الزندى
العضلة المعارضة للإصبع الصغير	تثنى العظم الرسغى الخامس عند مفصل الرسغ الرسغى عندما يتم تحريك الإصبع الصغير إلى وضع المعارضة مع طرف الإبهام؛ تعمق راحة اليد	• خطاف عظم الهامات؛ الرباط المثنى • السطح الإنسى لعظم المشط الخامس	العصب الزندى
مجموعة منتصف راحة اليد			
أربعة عضلات بين عظام الظهر ية70)إن-تور-أوس-إيوس(	تبعد الأصابع؛ تثنى بقوة مفاصل المشط السلامى لكن تم دد مفاصل السلامى السلامى، اعتمادًا على عمل العضلات الأخرى؛ مهمة فى قوة القبضة	• كل واحدة برأسين تنشأ من الأسطح المواج هة لعظام المشط المجاورة السلاميات الق ريبة II–IV •	العصب الزندى
ثلاث عضلات بين عظام راحة ا ليد	تقرب الأصابع؛ نفس الأفعال الأخرى لعضلات بين عظا م الظهرية	• عظام المشط I، II، IV، V • السلاميات القريبة II، IV، V	العصب الزندى
أربعة عضلات لمبركال[71])لوم-برى-كول(	تمديد مفاصل السلاميات؛ تساهم فى القدرة على قرص الأشياء بين لب الإبهام والسبابة، بدلاً من أن تلتقى هذه الأ صابع بحواف أطافرها	• أوتار العضلة المثنية العميقة للأصابع • السلاميات القريبة II–V	العصب المتوسط؛ العصب الزندى

مجموعة منتصف راحة اليد

تشغل مجموعة منتصف راحة اليد تجويف راحة اليد. تحتوى على 11 عضلة صغيرة مقسمة إلى ثلاث مجموعات—أربع عضلات بين عظمى ة طهرية، ثلاث عضلات بين عظمية راحية، وأربع عضلات لمبركال.

ل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

16. اذكر عضلة تلتصق بالكتف وتلعب دورًا هامًا فى كل من الأفعال ال تالية:

أ. دفع سيارة متوقفة،

ب. تجديف زورق الكانو،

الجانب الزندى لقاعدة الإبهام، ورأس عرضى يمتد من المشط الثالث إ لى نفس نهاية الرأس المائل.

مجموعة الهيبوثينار

تشكل مجموعة الهيبوثينار الكتلة اللحمية *(بروز الهيبوثينار)* عند قاعدة الإصبع الصغير. جميع هذه العضلات معنية بحركة هذا الإصبع.

---

[70] *inter* = بين؛ *osse* = عظام

[71] *lumbrical*= يشبه دودة الأرض

تربيع الكتفين فى وضع الانتباه العسكرى، ح.
رفع الكتف لحمل صندوق ثقيل عليه، و د.
خفض الكتف لرفع حقيبة سفر. هـ.

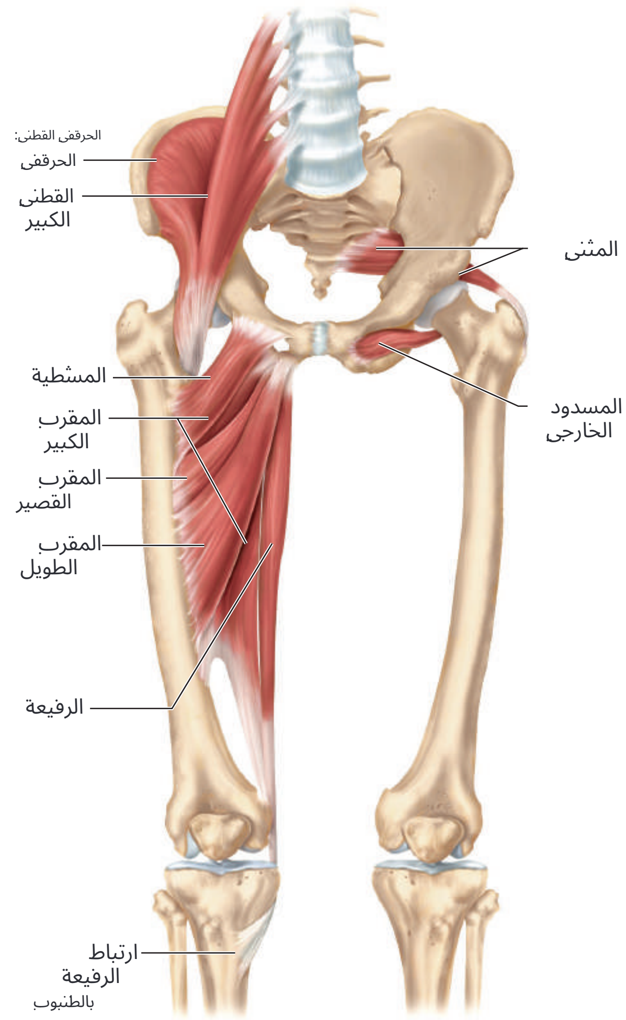
17. وصف ثلاثة حركات متباينة لعصلة الدالية.

18. اذكر العصلات الأربع لكفة المدور ووصف الأسطح الكتفية التى تس تند عليها.

19. سمِّ المحركات الرئيسية لانثناء وتمديد المرفق.

20. حدد ثلاث وظائف لعصلة العضد ذات الرأسين)بايسبس براكى(.

21. سمِّ ثلاث عصلات خارجية وعصلتين داخلية تثنى السلاميات.



الشكل 10.33 العضلات التى تؤثر على الورك وعظم الفخذ)منظر أمامى(. APR

10.5 العضلات التى تؤثر على الورك والطرف السفلى

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. تسمية وتحديد موقع العضلات التى تؤثر على مفاصل الورك والركبة الكاحل وأصابع القدم؛

ب. ربط أفعال هذه العضلات بحركات المفصل الموضحة فى الفصل ٩؛ و

ح. وصف المرفقات العظمية، الحركة، والتعصيب لهذه العضلات.

أكبر العضلات توجد فى الطرف السفلى. على عكس تلك الموجودة فى الطرف العلوى، فهى مهيأة أقل للدقة وأكثر للقوة اللازمة للوقوف، الحفاظ على التوازن، المشى، والجرى. يعبر العديد منها ويؤثر على مفصلين أو أكثر، مثل الورك والركبة. لتجنب الالتباس فى هذا النقاش، تذكر أن كلمة *الساق* فى المعنى التشريحى تشير فقط إلى الجزء من الطرف بين الركبة والكاحل. وتشمل *القدم* منطقة الرسغ، ومنطقة مشط القدم، وأصابع القدم. تصنف الجداول الأربعة التالية عضلات الطرف السفلى إلى تلك التى تؤثر على الفخذ ومفصل الورك، وتلك التى تؤثر على الساق ومفصل الركبة، والعضلات الخارجية)الساق(التى تؤثر على القدم ومفصل الكاحل، والعضلات الداخلية)القدم(التى تؤثر على الأقواس وأصابع القدم.

10.5أ عضلات تؤثر على الورك والفخذ

يؤثر على مفصل الورك والفخذ عضلات تنشأ من كل من حزام الحوض و عظم الفخذ)الجدول 10.13(.

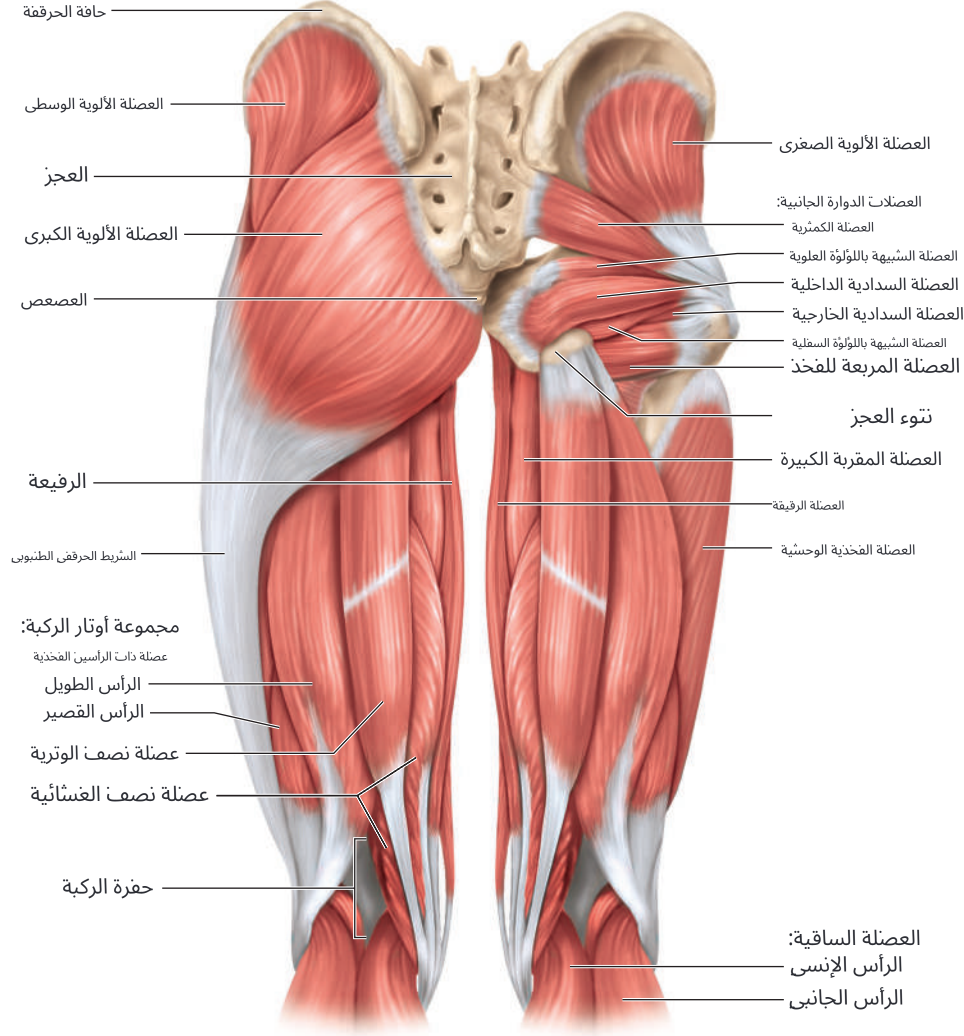
العضلات الأمامية للورك

معظم العضلات التى تؤثر على عظم الفخذ تنشأ من عظم الورك. العضلتان الرئيسيتان الأماميتان هما العضلة الحرقفية التى تملأ معظم الحفرة الحرقفية العريضة للحوض، و العضلة القطنية الكبرى وهى عضلة سميكة مستديرة تنشأ بشكل رئيسى من الفقرات القطنية

)الشكل 10.33(. يُطلق عليهما معًا اسم العضلة الحرقفية القطنية ويشتركان فى وتر مشترك إلى عظم الفخذ.

العضلات الجانبية والخلفية للورك

على الجانبين الجانبى والخلفى للورك توجد العضلة المشددة للفافة العرضية وثلاث عضلات الألوية. اللفافة العرضية هى غمد ليفى يحيط بالفخذ مثل جوارب تحت الجلد ويربط عضلاته بإحكام. على السطح الجانبى، تتحد مع أوتار العضلة الألوية الكبرى والعضلة المشددة للفافة العرضية لتشكل الشريط الحرقفى الظنبوبى الذى يمتد من الحد الحرقفى إلى اللقيمة الجانبية لعظم الظنبوب)انظر الشكل 10.34؛ الجدول 10.14(. تشد العضلة المشددة للفافة العرضية الشريط الحرقفى الظنبوبى وتدعم الركبة، خاصة عندما يتم رفع القدم المقابلة.



الشكل 10.34 عضلات الأرداف والفخذ الخلفية. الجانب الأيسر يُظهر العضلات السطحية. على الجانب الأيمن، تم إزالة عضلتى الألوية الوسطى والألوية الكبرى لإظهار العضلة الألوية الصغرى الأعمق، ومجموعة العضلات الدوارة الجانبية، وأصول عضلات أوتار الركبة. الشريط الأبيض المائل الوترى عبر العضلة نصف الوترية غير موجود دائمًا. APR

صف حركتين يوميتين من الجسم تستخدمان قوة العضلة الألوية الكبرى.

الحجرات)انظر الشكل 10.41(. تعمل عضلات الحجرات الأمامية والخلفية بشكل رئيسى كموسعات ومثنيات للركبة على التوالى، وتم تناوله ا فى الجدول 10.14.

تعمل العضلات الخمس فى الحجرة الإنسية بشكل رئيسى كمقربات للفخذ)انظر الشكل 10.33(، لكن بعضًا منها يعبر مفصلى الورك والركبة وله وظائف إضافية كما يلى.

المدوّرات الجانبية

أسفل العضلة الألوية الصغرى وعميقة بالنسبة للعضلتين الألويتين الأخريين توجد ست عضلات تسمى المدوّرات الجانبية، سميت بناءً على تأثيرها على عظم الفخذ)الشكل 10.34(. يمكن رؤية تأثيرها بوضوح عند وضع ساق فوق الأخرى للراحة على الكاحل

العضلات الألوية هى العضلة الألوية الكبرى، العضلة الألوية المتوسطة، والعضلة الألوية الصغرى)الشكل 10.34(. العضلة الألوية الكبرى هى الأكبر من بينها وتشكل معظم كتلة الأرداف النحيلة.
هى موسع لمفصل الورك ينتج حركة التأرجح الخلفى للساق أثناء المشى ويوفر معظم القوة عند صعود الدرج.
تولد أقصى قوتها عندما يكون الفخذ مثنيًا بزاوية 45° بالنسبة للجذع. هذه هى الميزة عند بدء سباق الجرى من وضع القرفصاء. العضلة الألوية المتوسطة تقع عميقًا وجانبيًا بالنسبة للعضلة الألوية الكبرى. اسمها يشير إلى حجمها، وليس موقعها. العضلة الألوية الصغرى هى الأصغر والأعمق من بين الثلاثة.

الحجرة الإنسية)المقربة(للفخذ

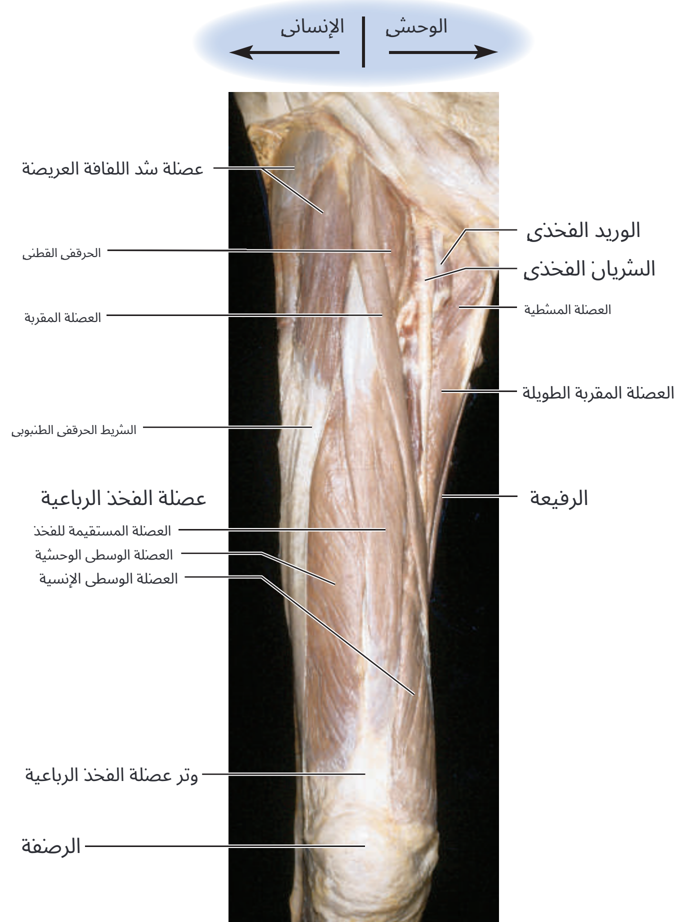
تقسم الأنسجة اللفافية الفخذ إلى ثلاث حجرات: الأمامية)الموسعة(، الخلفية)المثنية(، والإنسية)المقربة(

الجدول 10.13	العضلات المؤثرة على الورك والفخذ		
التعصيب	**الارتباطات العظمية**	**الفعل**	**الاسم**
العضلات الأمامية للفخذ			
العصب الفخذي	• حافة الحرقفة والحفرة؛ المنطقة العلوية الجانبية من العجز؛ الأربطة العجزية الحرقفية الأمامية والحرقفية القطنية • المدور الأصغر وجذع عطم الفخذ القريب	يثنى الفخذ عند الورك عندما يكون الجذع ثابتًا؛ يثنى الجذع عند الورك عندما يكون الفخذ ثابتًا، كما فى الانحناء إلى الأمام على كرسى أو الجلوس فى السرير؛ يوازن الجذع أثناء الجلوس	الإلياكوس[72])إى-لاى-أكوس(
الفروع الأمامية للأع صاب الشوكية ا لقطنية	• أجسام وأقراص الفقرات بين الفقرات T12–L5؛ النتوءات العرضية للفقرات القطنية • المدور الأصغر وجذع الفخذ القريب	نفس وظيفة الإلياكوس	العضلة القطنية[73] الكبرى)سو-أس(
العضلات الجانبية والخلفية للورك			
العصب الألوية الع لوية	• حافة الحرقفة؛ الشوكة العلوية الأمامية؛ السطح العميق للفا فة العرضية • النتوء الجانبى للطنبوب عبر المسار الحرقفى الطنبوبى	تمدد الركبة، يدير الطنبوب جانبياً، يساعد فى الاخ تطاف والدوران الداخلى لعطم الفخذ؛ أثناء الوقوف، ى ثبت الحوض على رأس عطم الفخذ ويثبت نتوءات ع طم الفخذ على الطنبوب	عضلة شد اللفافة الع رضية[74])تِن-سُر فاسْ-إى-إى لاى-تى(
العصب الألوفى ا لسفلى	• خط الألوية الخلفى للحرقفة، على السطح الخلفى من حافة ا لحرقفة إلى الشوكة العلوية الخلفية؛ العصعص؛ السطح الخ لفى للأسفل العجزى؛ اللفافة العضلية لعضلة الباسطة للعم ود الفقرى • نتوء الأرداف لعطم الفخذ؛ اللقمة الجانبية لعطم الطنبوب عبر الشريط الحرقفى الطنبوبى	تمدد الفخذ عند الورك كما فى صعود الدرج)الصعود إل ى الدرجة التالية(أو الجرى والمشى)تأرجح الطرف إلى ا لخلف(؛ يخطف الفخذ؛ يرفع الجذع بعد الانحناء؛ يمنع ا نحناء الجذع إلى الأمام أثناء المشى والجرى؛ يساعد فى تثبيت عطم الفخذ على الطنبوب	عضلة الألو ية الكبرى[75]
العصب الألوية الع لوية	• معطم السطح الجانبى لعطم الحرقفة بين الحدبة وتجويف الورك • المدور الأكبر لعطم الفخذ	تبعد وتدير الفخذ نحو الداخل؛ أثناء المشى، توزع وزن الجذع نحو الطرف الذى يكون قدمه على الأرض بينما تُرفع القدم الأخرى	العضلة الألوية الوسط ى والعضلة الألوية الصغ رى
الحجرة الإنسية)المقربة(للفخذ			
العصب المسدود	• جسم وفرع العانة السفلى • الخط الخشن والخط الحلزونى لعطم الفخذ	تقرب الفخذ	العضلة المقربة القصيرة
العصب المسدود	• جسم وفرع العانة السفلى • الخط الخشن لعطم الفخذ	يقرب ويدير الفخذ نحو الداخل؛ يثنى الفخذ عند الورك	العضلة المقربة الطويلة
العصب الم سدود؛ العصب ا لطنبوبى	• الفرع السفلى للعانة؛ فرع وتورم العجز • الخط الخشن، التورم الألوفى، والخط فوق اللقمى الوسيط لعطم الفخذ	يقرب ويدير الفخذ نحو الداخل؛ يمدد الفخذ عند الو رك	العضلة المقر بة العطمى
العصب المسدود	• جسم وفرع العانة السفلى؛ فرع العجز • السطح الوسيط للطنبوب أسفل اللقمة مباشرة	يثنى ويدير الطنبوب نحو الداخل عند الركبة	العضلة الرقيقة[76])غراس-إيه-ليس(
العصب الفخذى	• الفرع العلوى للعانة • الخط الحلزونى لعطم الفخذ	تثنى وتقرب الفخذ	العضلة المشطية[77])بيك-تين-يوس(
المدوّرات الجانبية			
العصب إلى العضلة المدورة الداخلية	• الشوكة العجزية • المدور الأكبر لعطم الفخذ	تدير الفخذ الممتد إلى الخارج؛ تبعد الفخذ المثنى؛ أحيا نًا تكون غائبة	العضلة الصغير ة العليا[78])جيه-ميل-يوس(
العصب إلى عضلة المربع الفخذية	• النتوء الإسكيلى • المدور الأكبر لعطم الفخذ	نفس وظائف العضلة الصغيرة العليا	العضلة الصغيرة السفلى
العصب المسدود	• السطح الخارجى لغشاء المُغلق؛ فروع العانة والعجز • عطم الفخذ بين الرأس والمدور الأكبر	غير مفهوم جيدًا؛ يُعتقد أنه يدير الفخذ إلى الخارج أثناء التسلق	المُغلق[79] خارجى)أوب-تو-راى-تور(

[72] *ili* = الخاصرة، الجانب
[73] *psoa* = الخاصرة
[74] *fasc* = شريط؛ *lat* = عريض
[75] *glut* = الأرداف؛ *maxim* = الأكبر

[76] *غراسيل* = نحيف
[77] *بكتين* = مشط
[78] *جيميلوس* = توأم
[79] *أوبتور* = يغلق، يسد

التعصيب	الارتباطات العطمية	الفعل	الاسم
العضلات المؤثرة على الورك والفخذ)تابع(			**الجدول 10.13**
الدوران الجانبى)متابعة(			
العصب إلى العضلة المدورة الداخلية	• فرع العانة؛ الفرع السفلى للعانة؛ السطح الأمامى الوسيط للحوض الصغير • المدور الأكبر لعطم الفخذ	غير مفهومة جيدًا؛ يُعتقد أنها تدير الفخذ الممتد جانبياً وتبعد الفخذ المثنى	العضلة السداد ية الداخلية
الأعصاب الشوكية L5–S2	• السطح الأمامى للعجز؛ السطح الألوى للحرقفة؛ كبسولة مفصل العجز الحرقفى • المدور الأكبر لعطم الفخذ	تدير الفخذ الممتد جانبياً؛ تبعد الفخذ المثنى	العضلة الكمثرية[80])بير-إيه-فور-ميس(
العصب إلى عضلة المربع الفخذية	• نتوء الإسك • الحدبة بين المدورين للفخذ	تدوير الفخذ جانبياً	العضلة الرباعية الفخذالجا نب الجانبى للفخذ[81])كو ادراتوس فيمو-ريس(



الشكل 10.35 العضلات السطحية للفخذ الأيمن.
منظر أمامى.
ريبيكا غراى/ماكجرو هيل

ركبتك، مما يسبب دوران عطم الفخذ وإشارة الركبة إلى الجانب الخار جى.وبالتالى، فإنها تعارض الدوران الداخلى بواسطة العضلة الألوية الم توسطةوالصغرى. معطمها أيصًا تبعد أو تقرب عطم الفخذ. تعتبر الع ضلات المبعدة مهمة فى المشى لأنه عندما يرفع الشخص قدمهعن ا لأرض، فإنها تنقل وزن الجسم إلى الساق الأخرىتمنع السقوط.

10.5ب العضلات التى تؤثر على الركبة والساق

تشكل العضلات التالية)الجدول 10.14(معطم كتلة الفخذ وتنتج أك ثر حركاتها وضوحًا على مفصل الركبة.ومع ذلك، يعبر بعضها مفصلى ا لورك والركبة وينتج حركات فى كلاهما، محركًا عطم الفخذ، الطنبوب،و الشطية.

الحجرة الأمامية)الممددة(للفخذ

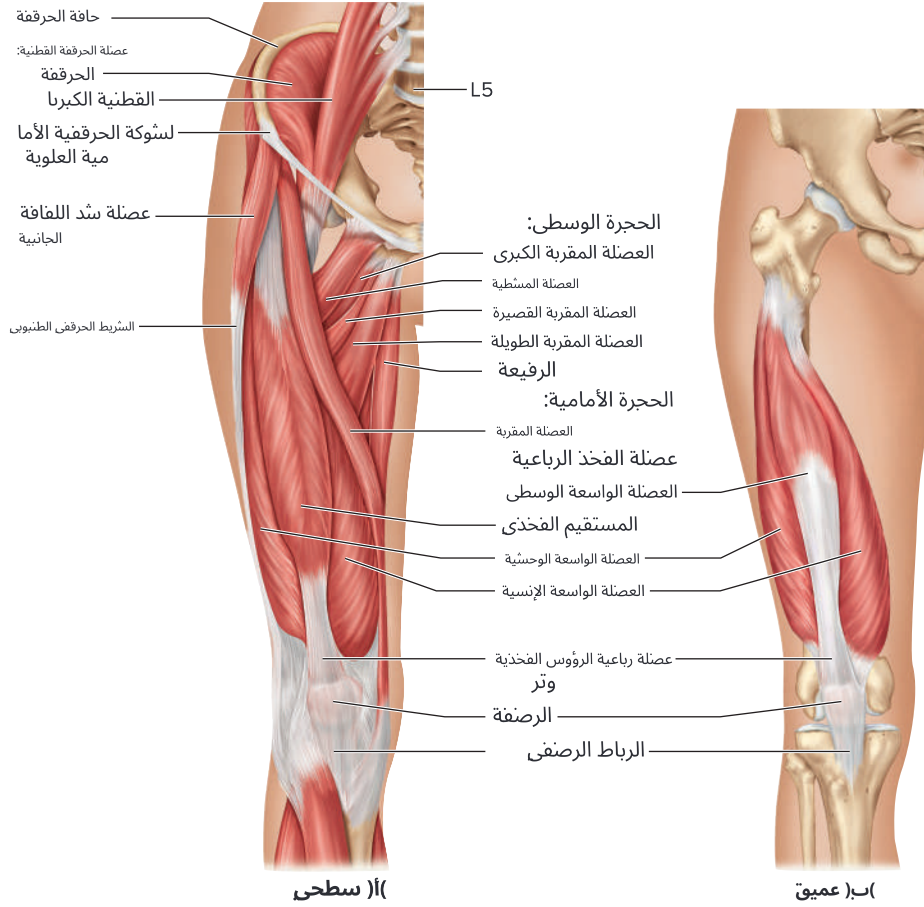
يحتوى الحيز الأمامى للفخذ على العضلة الرباعية الفخذية الكبيرة، وه ى المحرك الرئيسى لتمديد الركبة وأقوى عضلة فى الجسم)الشكلان 10.35، 10.36(. كما يوحى الاسم رباعية الرووس، فهى تتكون من أر بعة رؤوس: العضلة المستقيمة الفخذية، العضلة الوسطى الوحشية، ا لعضلة الوسطى الإنسية، والعضلة الوسطى البينية. تلتقى الأربعة جم يعها فى وتر رباعى الرؤوس)وتر الرضفة(واحد، الذى يمتد إلى الرضفة ، ثم يستمر كرباط رضفى وينغرس فى نتوء الطنبوب.)تذكر أن الوتر عا دةً يمتد من العضلة إلى العطم، والرباط من عطم إلى عطم(. يتم صنر ب الرباط الرضفى بمطرقة رد فعل مطاطية لاختبار رد فعل الركبة. تقو م العضلة الرباعية بتمديد الركبة عند الوقوف أو اتخاذ خطوة أو ركل ال كرة. يساهم أحد الرؤوس، العضلة المستقيمة الفخذية، فى الجرى من خلال العمل مع العضلة الحرقفية القطنية لثنى الورك فى كل مرحلة طيران من دورة حركة الساق.

يقوم العضلة المستقيمة الفخذية أيصًا بثنى الورك فى حركات مثل الركلات العالية وصعود السلالم، أو ببساطة سحب الساق إلى الأمام أثناء الخطوة.

يمر عبر عضلات الفخذ الأمامية من الجانب الجانبى للورك إلى الجانب الإنسى للركبة هو العضلة الشريطية الضيقة السارتوريوس ، وهى أطول عضلة فى الجسم. تقوم بثنى مفصلى الورك والركبة وتدوير الفخ ذ جانبياً، كما فى وضعية تقاطع الساقين. وتُعرف شعبياً باسم "عضلة الخياط" نسبة إلى وضعية الخياط الجالس متقاطع الساقين أثناء دعم ه لعمله على الركبة المرفوعة.

[80] بيرى = كمثرى؛ الشكل = على شكل

[81] كوادرات = رباعى الأضلاع؛ فيموريس = للفخذ أو عطم الفخذ



الشكل 10.36 العضلات الأمامية للفخذ الأيمن.)أ(العضلات السطحية.)ب(إزالة عضلة المستقيم الفخذى والعضلات الأخرى لكشف الرؤوس الثلاثة الأخرى لعضلة رباعية الرؤوس الفخذية. APR

10.5ح العضلات التى تؤثر على الكاحل والقدم

تشكل كتلة الساق اللحمية مجموعة من عضلات الساق)الجدول 10.15(التى تؤثر على القدم)الشكل 10.37(. هذه العضلات مربوطة بإحكام بواسطة الأنسجة اللفافية التى تضغط عليها وتساعد فى عودة الدم من الساقين. تفصل الأنسجة اللفافية عضلات الساق إلى حجرات أمامية وجانبية وخلفية)انظر الشكل 10.41ب(.

الحجرة الأمامية)المُمددة(للساق

تقوم عضلات الحجرة الأمامية بثنى الكاحل إلى الأعلى وتمنع أصابع القدم من الاحتكاك بالأرض أثناء المشى. من الجانبى إلى الوسطى، هذه العضلات هى فيبولاريس تيرتيوس، إكستنسر ديجيتوروم لونغوس)مُمدد الأصابع II–V(، إكستنسر هالوسيس لونغوس)مُمدد الإصبع الكبير(، و تيبياليس أنتيريور)الشكل 10.38(.
تُثبت أوتارها بإحكام على الكاحل وتُمنع من الانحناء بواسطة اثنين من أربطة الإكستنسر المشابهة لتلك الموجودة فى المعصم.
التهاب هذه الأوتار هو أحد أسباب *ألم الساق الأمامى)شينسبلينتس(*)انظر التعمق 10.6(.

الحجرة الخلفية)العضلات المثنية(للفخذ

تحتوى الحجرة الخلفية على ثلاث عضلات تُعرف شعبياً باسم عضلات أوتار الركبة؛ من الجانب الوحشى إلى الإنسى، وهى العضلة ذات الرأسين للفخذ، العضلة نصف الوترية، والعضلة نصف الغشائية)انظر الشكل 10.34(. الحفرة الموجودة خلف الركبة، والمعروفة تشريحياً باسم الحفرة المأبضية، تُسمى شعبياً *أوتار الركبة*. يمكن الشعور بأوتار هذه العضلات كأحبال بارزة على جانبى الحفرة—وتر العضلة ذات الرأسين على الجانب الوحشى، وأوتار العضلة نصف الغشائية ونصف الوترية على الجانب الإنسى. عندما تهاجم الذئاب فرائس كبيرة، فإنها تحاول غريزياً قطع أوتار الركبة، لأن ذلك يجعل الفريسة عاجزة. تقوم أوتار الركبة بثنى الركبة، وبمساعدة العضلة الألوية الكبرى، تمد الورك أثناء المشى والجرى. سُميت العضلة نصف الوترية بهذا الاسم بسبب وترها الطويل غير المعتاد. كما أن هذه العضلة عادةً ما تنقسم بواسطة شريط وترى عرضى أو مائل. أما العضلة نصف الغشائية فُسميت بهذا الاسم لشكل ارتباطها العلوى المسطح.

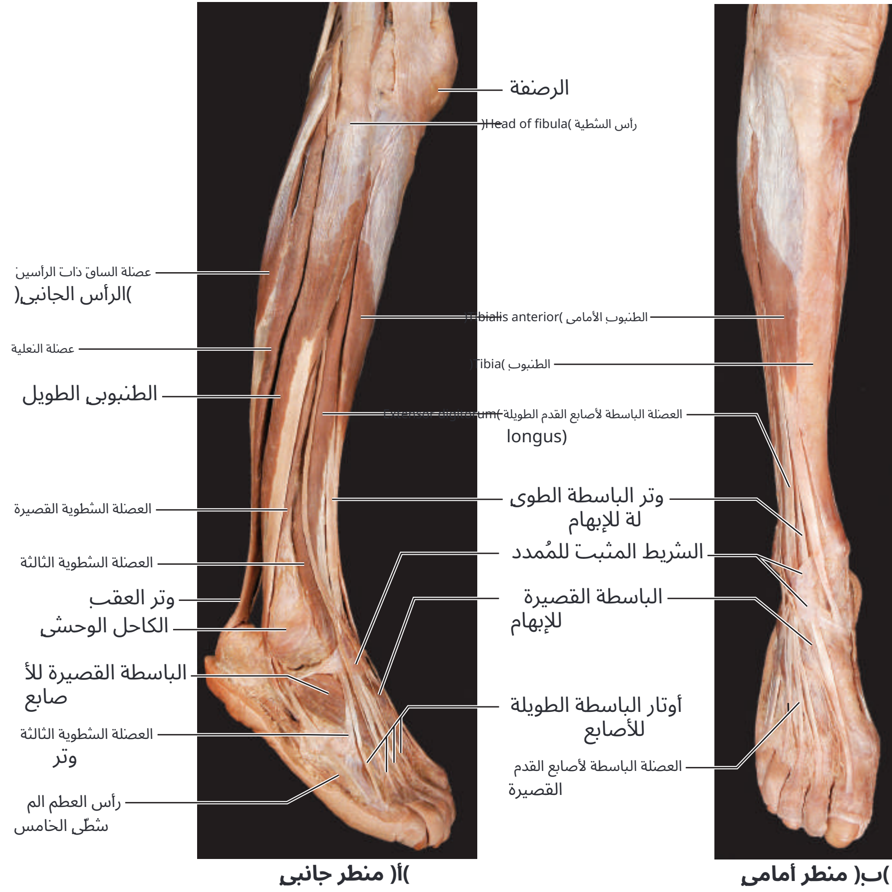
الحجرة الخلفية للساق

تعمل معظم العضلات فى الحجرة الخلفية للساق على الكاحل والقدم وتُستعرض فى الجدول 10.15، لكن عضلة البوبليتيوس تؤثر على الركبة)انظر الأشكال 10.39، 10.40(.

الجدول 10.14 العضلات المؤثرة على الركبة والساق

الاسم	الفعل	الارتباطات العظمية	التعصيب
الحجرة الأمامية)الباسطة(للفخذ			
عضلة الفخذ الرباعية)كواد-ريه-سيبس فيم-أوريس(	تمدد الركبة، بالإضافة إلى أفعال الرؤوس الفردية المذكورة لاحقًا	• تختلف؛ انظر الرؤوس الفردية • الرضفة؛ نتوء الظنبوب؛ اللقمتان الجانبية والوسطى للظنبوب	العصب الفخذى
عضلة المستقيمة الفخذية	تمدد الركبة؛ تثنى الفخذ عند الورك؛ تثنى الجذع على الورك إذا كان الفخذ ثابتًا	• الحرقفة عند الشوكة الأمامية السفلية والحافة العليا للحُقّ؛ كبسولة مفصل الورك • انظر عضلة الفخذ الرباعية	العصب الفخذى
الفاستوس[82] الجانبى	يمدد الركبة؛ يحافظ على الرضفة فى الأخدود على عظم الفخذ أثناء حركات الركبة	• عظم الفخذ عند المدور الأكبر وخط بين المدورين، نتوء الألوية، وخيط الأسبيرا • انظر عضلة الفخذ الرباعية	العصب الفخذى
العضلة الواسعة الإنسية	نفس الفاستوس الجانبى	• عظم الفخذ عند خط بين المدورين، الخط الحلزونى، خيط الأسبيرا، والخط الجانبى فوق اللقمى • انظر عضلة الفخذ الرباعية	العصب الفخذى
العضلة الواسعة الوسطى	يمدد الركبة	• الأسطح الأمامية والجانبية لعمود عظم الفخذ • انظر عضلة الفخذ الرباعية	العصب الفخذى
السارتوريوس[83]	يساعد فى ثنى الركبة والورك، كما فى الجلوس أو التسلق؛ يبعد ويدير الفخذ إلى الخارج	• على وحول الشوكة العلوية الأمامية للعظم الحرقفى • السطح الإنسى للنهاية القريبة لعظم الساق	العصب الفخذى
الحجرة الخلفية)العضلات المثنية(للفخذ			
عضلة ذات الرأسين الفخذية	يثنى الركبة؛ يمد الورك؛ يرفع الجذع من وضع الانحناء؛ يدير الظنبوب جانبياً على عظم الفخذ عند ثنى الركبة؛ يدير عظم الفخذ جانبياً عند تمديد الورك؛ يعاكس الانحناء الأمامى عند الوركين	• الرأس الطويل: نتوء الإسكيمالرأس القصير: الخط الخشن والخط فوق اللقمى الجانبى لعظم الفخذ • رأس الشظية	العصب الظنبوبى؛ العصب الشظوى المشترك
عضلة نصف الوترية[84])سيم-إى-تين-دو-أه-سوس(	يثنى الركبة؛ يدير الظنبوب داخلياً على عظم الفخذ عند ثنى الركبة؛ يدير عظم الفخذ داخلياً عند تمديد الورك؛ يعاكس الانحناء الأمامى عند الوركين	• نتوء الإسك • السطح الداخلى للجزء العلوى من الظنبوب	العصب الظنبوبى
عضلة نصف الغشائية[85])سيم-إى-ميم-بران-أه-سوس(	نفس عضلة السيميتنديتوس	• نتوء العجز • الكونديل الإنسى والهامش القريب من الظنبوب؛ الخط بين الكونديليات والكوندىل الوحشى لعظم الفخذ؛ رباط منطقة الركبة الخلفية	العصب الظنبوبى
الحجرة الخلفية للساق			
عضلة البوبليتيوس[86])بوب-ليت-يوس(	تدير الظنبوب نحو الداخل على عظم الفخذ إذا كان عظم الفخذ ثابتًا)كما فى الجلوس(، أو تدير عظم الفخذ نحو الخارج على الظنبوب إذا كان الظنبوب ثابتًا)كما فى الوقوف(؛ تفتح الركبة للسماح بالانثناء؛ قد تمنع انزلاق عظم الفخذ للأمام أثناء الانحناء	• الكونديل الوحشى لعظم الفخذ؛ الغضروف الهلالى الوحشى وكبسولة المفصل • سطح الخلفى للجزء العلوى من الظنبوب	العصب الظنبوبى

82 *فاستوس* = كبير، واسع
83 *سارطور* = خياط
84 *سيمى* = نصف؛ *تيندينوسوس* = وترى
85 *سيمى* = نصف؛ *ممبرانوسوس* = غشائى
86 *بوبليت* = ورك)حفرة(الركبة



الشكل 10.37 العضلات السطحية للساق اليمنى.)أ(منظر جانبى.)ب(منظر أمامى.

أ–ب: كريستين إكل / ماكجرو هيل

أقوى وتر فى الجسم ولكنه مع ذلك موقع شائع لإصابات الرياضة النا تجة عن الإجهاد المفاجئ)انظر التعمق 10.7(.
العضلة النباتية)plantaris(، وهى متآزر ضعيف لعضلة الترايسبس سوريه، هى عضلة غير مهمة نسبيًا وغائبة عند كثير من الناس؛ لذلك لم تُدرج هنا. غالبًا ما يستخدم الجراحون وتر العضلة النباتية فى ترقيع الأوتار اللازمة فى أجزاء أخرى من الجسم.

الحجرة الخلفية)العضلات المثنية(للساق، المجم وعة العميقة

هناك أربع عضلات فى المجموعة العميقة)الشكل 10.40(. العضلات المثنية للأصابع الطو يلة)flexor digitorum longus(، المثنية للإبهام الطويلة)flexor hallucis longus(، وا لطنبوبية الخلفية)tibialis posterior(هى عضلات مثنية للقدم. العضلة الرابعة، العضلة ا لمأبضية)popliteus(، موصوفة فى الجدول 10.14 لأنها تؤثر على الركبة بدلاً من القدم.

الحجرة الجانبية)الطنبوبية(للساق

تتضمن الحجرة الجانبية العضلتين الطنبوبيتين القصيرة والطويلة)انظر الأشكا ل 10.37a، 10.38a؛ الشكل 10.41(. تقومان بثنى القدم نحو الأسفل)planta r flexion(وإبعادها)eversion(. الثنى نحو الأسفل مهم ليس فق ط عند الوقوف على أطراف الأصابع بل أيضًا لتوفير الرفع والدفع الأمامى فى كل خطوة تخطوها.



نظرة أعمق 10.6

التطبيق السريرى

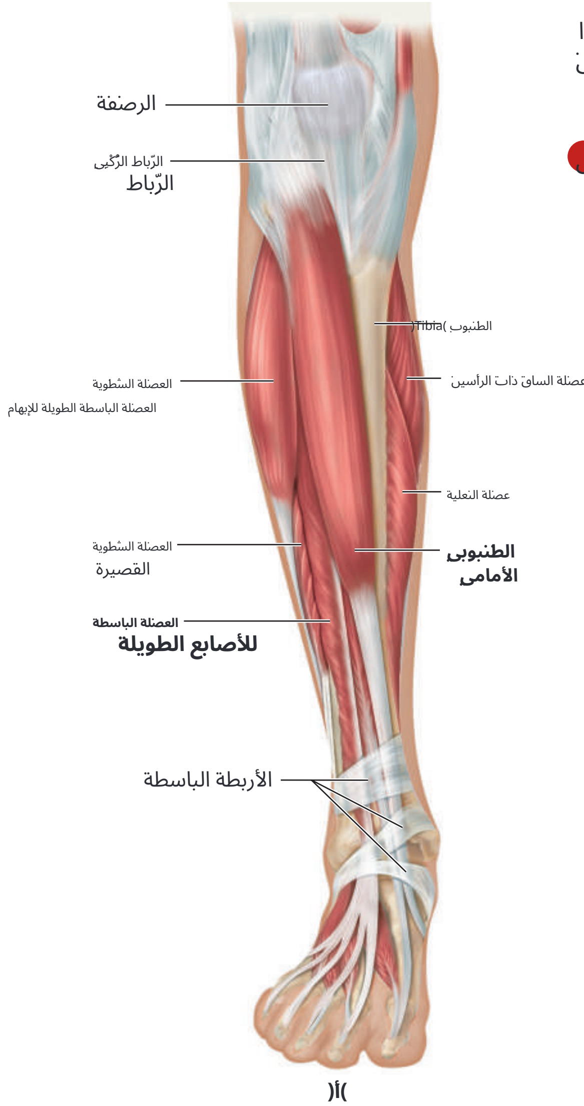
آلام الساق

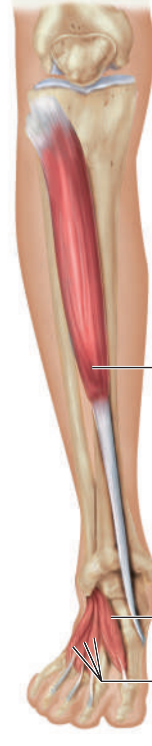
آلام الساق هو مصطلح عام يشمل عدة أنواع من الإصابات مع ألم فى منطقة السا ق: التهاب وتر العضلة الطنبوبية الخلفية، التهاب غشاء العظم الطنبوبى، ومتلازمة الحيز الأمامى. يمكن أن تحدث آلام الساق نتيجة للجرى غير المعتاد، المشى على أحذية الثلج، أو أى نشاط مكثف للساقين بعد فترة من الكسل النسبى.

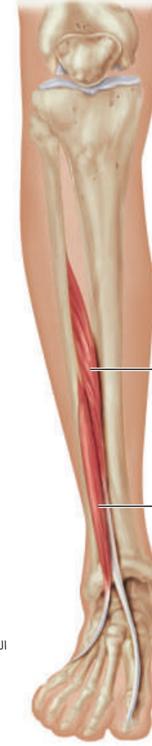
الحجرة الخلفية)العضلات المثنية(للساق، المجموعة السطحية

تحتوى الحجرة الخلفية على مجموعات عضلية سطحية وعميقة)الشكل 10.39(. العضلات الثلاث للمجموعة السطحية هى عضلات مثنية للقدم: العضلة ثلاثية الر ؤوس الساقية)gastrocnemius(، العضلة السوليوس)soleus(، والعضلة النباتية)plantaris(. العضلتان الأوليان، المعروفتان معًا باسم ثلاثية الرؤوس الساقية)triceps surae([87]، تلتصقان بع ظم العقب)calcaneus(عبر وتر العرقوب)وتر أخيل( )calcaneal (Achilles) tendon(. هذا هو

[87] ثلاثة = ثلاثة؛ رؤوس = رؤوس؛ الساق = عضلة الساق









الشكل 10.38 عضلات الساق اليمنى، الحجرة الأمامية. تشير التسميات بالخط العريض إلى العضلات التى تنتمى إلى الحجرة الأمامية. (أ) منظر أمامى سطحى للساق. بعض عضلات الحجرة الخلفية والجانبية مرئية جزئيًا أيضًا. (ب)–(د) عضلات فردية من الحجرة الأمامية للساق والجانب الظهرى للقدم.

APR

استشعر الزاوية الأمامية الصلبة لعظم الظنبوب فى منتصف الساق، ثم استمر بالتحرك نحو الداخل حتى تشعر بعضلة. ما هى تلك العضلة؟



نظرة أعمق 10.7

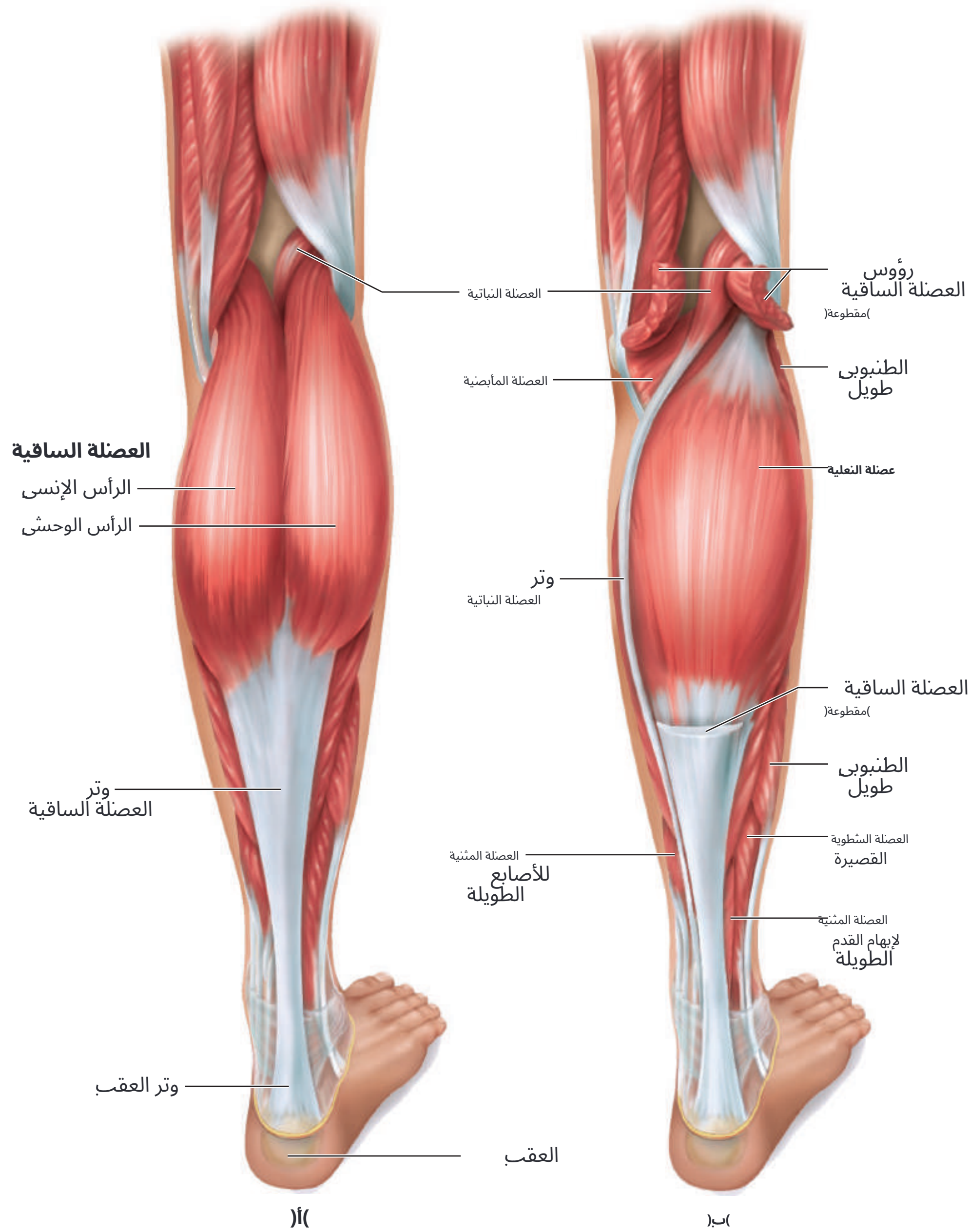
التطبيق السريرى

تمزق وتر العقب

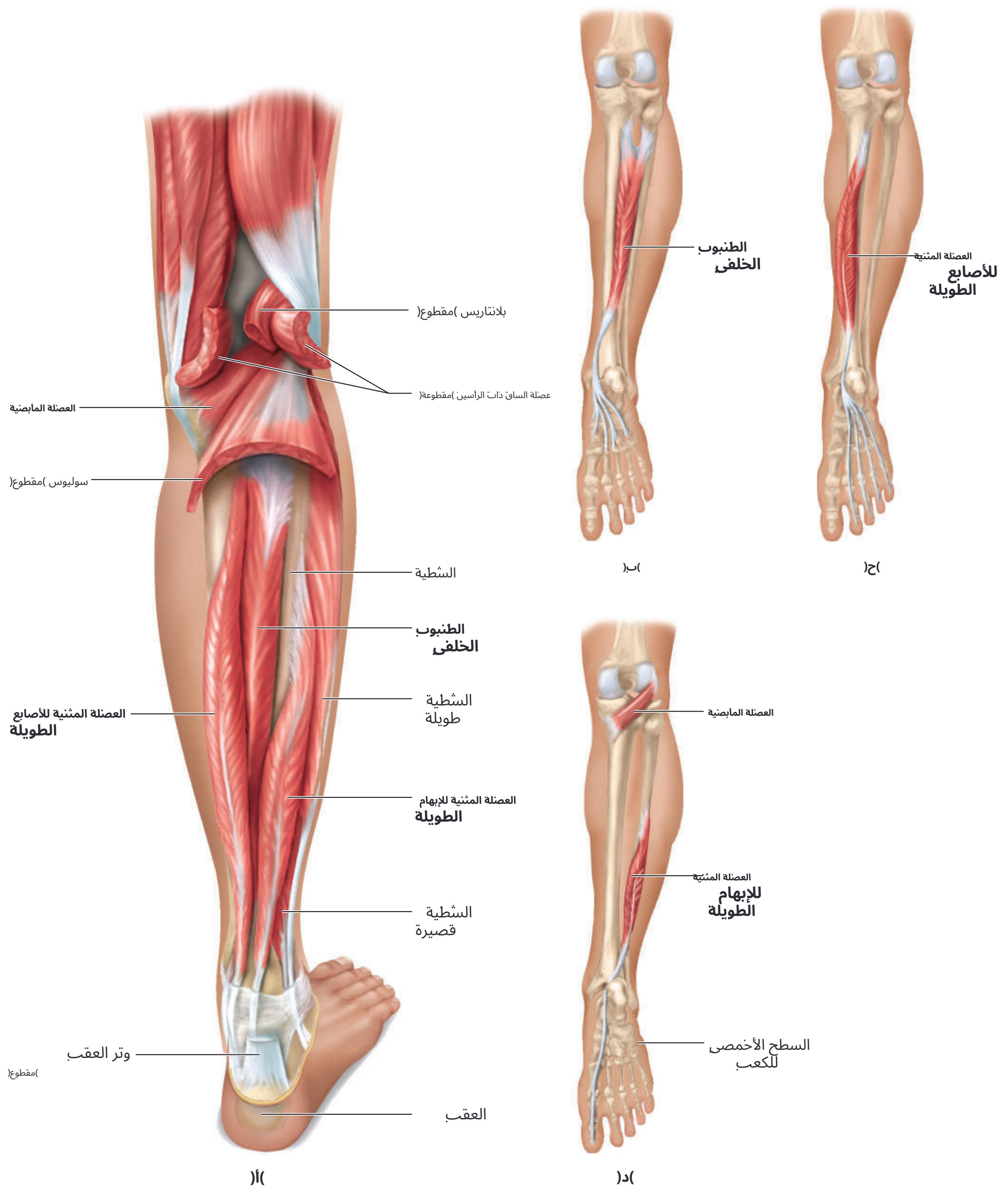
تمزق وتر العقب هو إصابة شائعة تحدث فى الرياضات الهواة والمجهدة مثل كرة السلة والتنس. عند الدفع بقوة من الأرض كما فى قفزة كرة السلة، قد يتمزق الوتر مع صوت فرقعة عالية، يصفها البعض بأنها تشبه صوت إطلاق النار.

يسبب التمزق ألمًا فوق الكعب مباشرة وعدم القدرة على الوقوف أو المشى على الساق المصابة. من العلامات الظاهرة لتمزق الوتر وجود عقدة كبيرة، وهى تقلص عضلة ثلاثية الرؤوس الساقية، فى أعلى الساق الخلفية؛ وحركة ظهرية غير طبيعية للقدم، ناتجة عن عمل العضلة الظنبوبية الأمامية

التى فجأة تصبح غير مقيدة بفعل العضلة ثلاثية الرؤوس المعاكسة. تمزق وتر العقب أكثر شيوعًا عند الرجال الذين يعانون من زيادة الوزن وتتراوح أعمارهم بين 30 و40 عامًا، والذين ليسوا فى حالة بدنية جيدة لكنهم يشاركون فى لعبة غير معتادة مثل كرة السلة الارتجالية أو كرة القدم فى الحديقة الخلفية. غالبًا ما يشفى الوتر الممزق من تلقاء نفسه مع الراحة والعناية المناسبة، لكنه قد يتطلب إصلاحًا جراحيًا، خاصةً لدى الشباب النشطين بدنيًا الذين لا يميلون إلى الراحة لعدة أشهر.



الشكل 10.39 العضلات السطحية للساق اليمنى، الحجرة الخلفية.)أ(العضلة ثلاثية الرؤوس الساقية)العضلة الساقية(.)ب(العضلة النعلية، تقع عميقًا تحت ا لعضلة ثلاثية الرؤوس الساقية وتشترك معها فى وتر العقب.



الشكل 10.40 عضلات عميقة فى الساق اليمنى، الحُجرات الخلفية والجانبية.)أ(العضلات العميقة تحت العضلة النعلية.)ب(–)د(كشف بعض العضلات العميقة الفردية مع ثنى القدم الأخمصى)النعل مواجه للمشاهد(. APR

TABLE 10.15 العضلات التي تؤثر على الكاحل والقدم

الاسم	الفعل	الارتباطات العظمية	التعصيب
الحجرة الأمامية)الباسطة(للساق			
الطنبوبي)بيرونيوس[88] (الثالث[89] (FIB-you-LERR-iss TUR-she-us)	يثني القدم للأعلى ويُبعدها أثناء المشي؛ يساعد أصابع القدم على تجاوز الأرض أثناء تأرجح الساق للأمام	• السطح الإنسي للثلث السفلي من الطنبوب؛ الغشاء بين العظام • العظمة المشطية الخامسة	العصب الطنبوبي العميق)العصب الشطوي(
مُمدد أصابع القدم الطويل (DIDJ-ih-TOE-rum)	يمد أصابع القدم؛ يثني القدم للأعلى؛ يشد اللفافة الأخمصية	• الحدبة الوحشية لعظم الظنبوب؛ جذع الطنبوب؛ الغشاء بين العظام • العظام السلامية الوسطى والنهائية II–V	العصب الطنبوبي العميق)العصب الشطوي(
العضلة الباسطة للإبهام الطويل)ها-لوسيس(	يمد إصبع القدم الكبير؛ يثني القدم ظهريًا	• السطح الأمامي للجزء الأوسط من الشطية، الغشاء بين العظام • السلامية البعيدة للإصبع الأول	العصب الطنبوبي العميق)العصب الشطوي(
تيبياليس[90] أمامي)تيبي-آي-ليس(	يثني القدم ظهريًا ويقلبها إلى الداخل؛ يقاوم ميلان الجسم للخلف)كما عند الوقوف على سطح قارب متحرك(؛ يساعد في دعم القوس الطولي الإنسي للقدم	• الكونديل الجانبي والحافة الجانبية للنصف القريب من الطنبوب؛ الغشاء بين العظام • العظم الإسفنجي الإنسي، المشط الأول	العصب الطنبوبي العميق)العصب الشطوي(
الحجرة الخلفية)العضلات المثنية(للساق، المجموعة السطحية			
العضلة ثلاثية الرؤوس الساقية[91])جاس-تروك-نى-مى-أوس(	يثني القدم أخمصيًا، يثني الركبة؛ نشط أثناء المشي، الجري، والقفز	• الكونديلات، السطح الخلفي للركبة، والخط فوق الكونديل الجانبي لعظم الفخذ؛ كبسولة مفصل الركبة • العقب)Calcaneus(	العصب الطنبوبي
عضلة السوليوس[92])سو-لى-أوس(	يثني القدم نحو الأسفل؛ يثبت الساق عند الكاحل أثناء الوقوف	• السطح الخلفي لرأس وعُشر الجزء القريب من عظم الشطية؛ الثلث الأوسط من عظم الطنبوب؛ الغشاء بين العظام • العقب)Calcaneus(	العصب الطنبوبي
الحجرة الخلفية)العضلات المثنية(للساق، المجموعة العميقة			
عضلة مثنية الأصابع الطويلة	يثني السلاميات للأصابع الثانية إلى الخامسة عند رفع القدم عن الأرض؛ يثبت رؤوس مشط القدم ويحافظ على وسائد الأصابع البعيدة على اتصال بالأرض أثناء حركة رفع الأصابع والمشي على أطراف الأصابع	• السطح الخلفي لعمود الطنبوب • السلاميات البعيدة للأصابع الثانية إلى الخامسة	العصب الطنبوبي
عضلة مثنية الإبهام الطويلة	نفس وظائف العضلة المثنية الطويلة للأصابع، ولكن للإبهام)الرقم الأول(	• ثلثا الساق السفليان من عظم الشطية والغشاء بين العظم • السلامية البعيدة للإصبع الأول	العصب الطنبوبي
الطنبوب الخلفي	يقلب القدم إلى الداخل؛ قد يساعد في الانثناء الأخمصي القوي أو التحكم في تقويس القدم أثناء المشي	• السطح الخلفي للنصف العلوي من عظم الطنبوب، الشطية، والغشاء بين العظامالعظم الزورقي، العظم الإسفنجي الوسيط، العظام المشطية الثانية إلى الرابعة	العصب الطنبوبي
الحجرة الجانبية)الطنبوبية(للساق			
الشطوي القصير)البرزوني(	يحافظ على تقعر باطن القدم أثناء رفع الأصابع والمشي على أطراف الأصابع؛ قد يقلب القدم إلى الخارج ويحد من التقلب إلى الداخل ويساعد في تثبيت الساق على القدم	• السطح الجانبي لثلثي الساق السفليين من عظم الشطية • قاعدة العظم المشطي الخامس	العصب السطحي الشطوي)البرزوني(
الشطوي الطويل)البرزوني(	يحافظ على تقعر باطن القدم أثناء رفع الأصابع والمشي على أطراف الأصابع؛ يقلب القدم إلى الخارج وينثني أخمصياً	• رأس والسطح الجانبي للثلثين القريبين من الشطية • العظم الإسفنجي الإنسي، المشط الأول	العصب السطحي الشطوي)البرزوني(

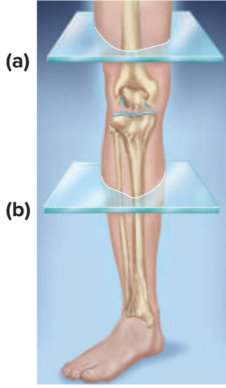
[88] perone = دبوس السَّكِل)الشظية(
[89] fibularis = من الشظية؛ tert = الثالث
[90] tibialis = من الطنبوب
[91] gastro = بطن؛ cnem = الساق
[92] سُميت لتشابهها مع سمك مسطح)sole(

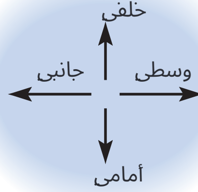
المفتاح أ

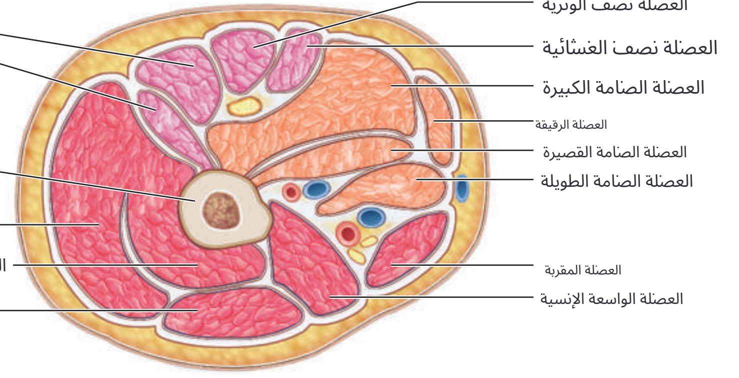
الحجرة الأمامية (العضلات الباسطة)

الحجرة الإنسيّة (العضلات الضامة)

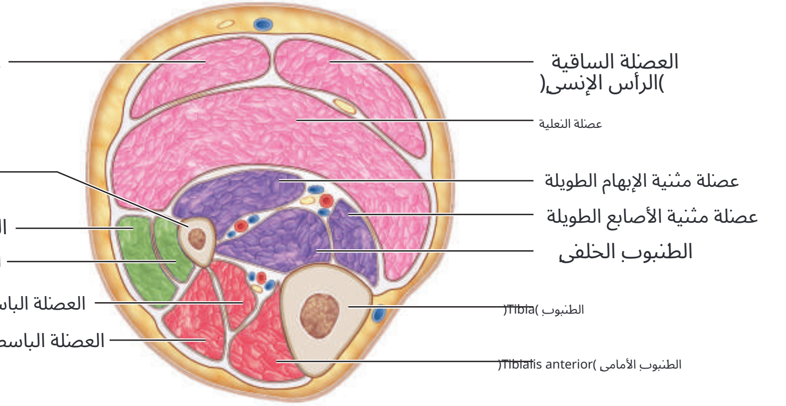
الحجرة الخلفية (العضلات المثنية) (العضلات الخلفية للفخذ)







(أ) الفخذ



(ب) الساق

المفتاح ب

الحجرة الأمامية (العضلات الباسطة)

الحجرة الوحشية (الحجرة الشظوية)

الحجرة الخلفية (العضلات المثنية) السطحية

الحجرة الخلفية (العضلات المثنية) العميقة

الشكل 10.41 مقاطع عرضية متسلسلة عبر الطرف السفلي الأيمن. تم أخذ مقاطع عرضية لعظم الفخذ (أ) والساق (ب) عند المستويات المشار إليها بال حروف المقابلة في الشكل على اليسار.

العضلة التي تخدم إصبع القدم الكبير، تُسمى أحيانًا *العضلة الباسطة لإبهام القدم القصيرة (extensor hall ucis brevis).*

الطبقة البطنية 1 (الأكثر سطحية)

جميع العضلات الجوهرية المتبقية تقع على الجانب البطني (السفلي) للقدم أو بين عظام مشط القدم. وهي مجمعة في أربع طبقات (الشكل 10.42). عند التشريح من سطح باطن القدم، يُصادف أولاً صفيحة ليفية قوية، وهي اللفافة الأخمصية (plantar aponeurosis)، بين الجلد والعضلات. تتفرع هذه اللفافة مثل المروحة من عظم العقب إلى قواعد جميع أصابع القدم، وهي موقع شائع للالتهاب المؤلم (انظر التعمق 10.8). تنشأ عدة عضلات بطنية من هذه اللفافة. تشمل العضلات البطنية العضلة القوية العضلة المثنية لأصابع القدم القصيرة (flexor digitorum brevis) على الخط الأوسط للقدم، مع أربعة أوتار تغذي جميع الأصابع ما عدا إصبع القدم الكبير. تحيط بها من الجانب الجانبي العضلة المبعدة لإصبع القدم الصغير (abductor digiti mini) ومن الجانب الإنسي العضلة المبعدة لإبهام القدم (abductor hallucis).

الطبقة البطنية 2

الطبقة الأعمق التالية تتكون من العضلة المربعة الأخمصية السميكة **quadratus plantae** (العضلة المثنية الإضافية) في وسط القدم وأربع عضلات lumbrical تقع بين عظام مشط القدم.

▶▶▶ طبق ما تعرفه

افترض أنك تميل قدمك للأعلى لتقليم أو طلاء أظافر أصابع قدمك. حدد أكبر عدد ممكن من العضلات التي تعرفها والتي يمكن أن تسهم في هذا الفعل.

▶▶▶ طبق ما تعرفه

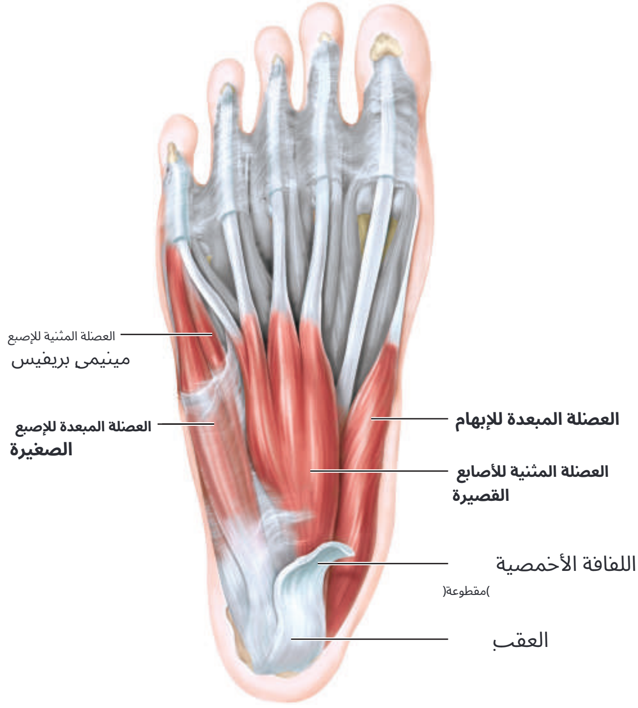
افترض أنك تلعب الفريسبي وسقطت الفريسبي على سطح منزلك. عليك أن تتسلق سلمًا لتحصل عليه. حدد أكبر عدد ممكن من العضلات التي يمكن أن تساعدك في الصعود من درجة سلم إلى أخرى.

10.5د العضلات الجوهرية للقدم

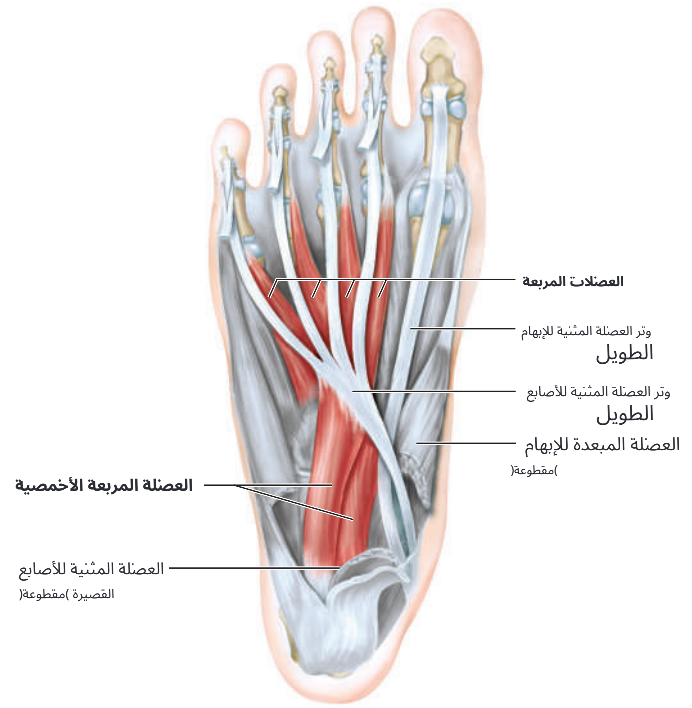
العضلات الجوهرية للقدم (الجدول 10.16) تساعد في دعم الأقواس و تؤثر على أصابع القدم بطرق تساعد على الحركة. العديد منها مشابهة في الاسم والموقع للعضلات الجوهرية لليد.

الجانب الظهري (الأعلى) للقدم

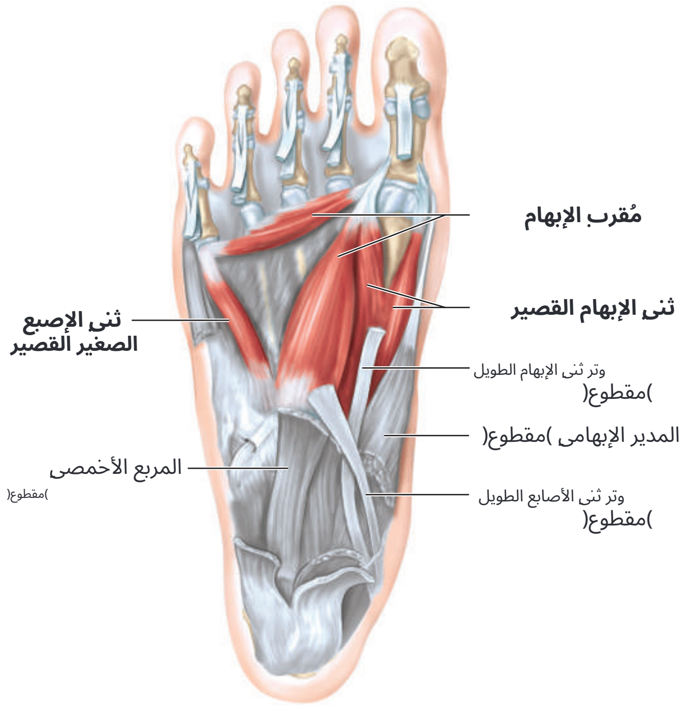
عضلة واحدة فقط من العضلات الجوهرية، وهي العضلة الباسطة لأصابع القدم القصيرة (extensor digitorum brevis)، تقع على الجانب الظهري (الأعلى) للقدم. الشريحة الوسطية من هذه



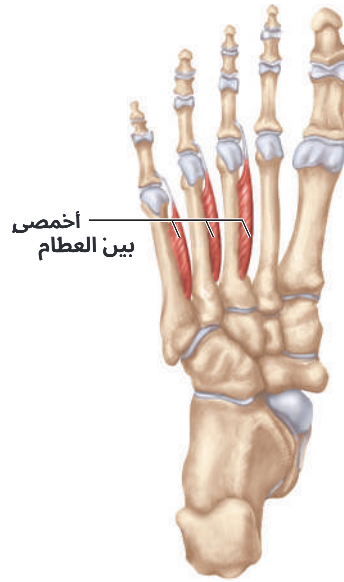
)أ(الطبقة 1، منظر بطنى



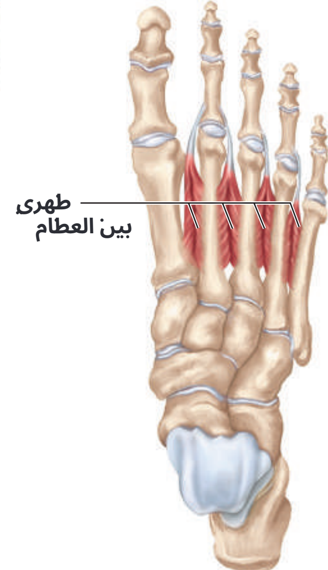
)ب(الطبقة 2، منظر بطنى



)ح(الطبقة 3، منظر أخمصى



)د(الطبقة 4، منظر أخمصى



)هـ(الطبقة 4، منظر ظهرى

الشكل 10.42 العضلات الداخلية للقدم اليمنى.)أ(–)د(الطبقات من الأولى إلى الرابعة على التوالى، فى العرض البطنى)البطنى(.)هـ(الطبقة الرابعة منظر ظهرى. العضلات التابعة لكل طبقة موضحة بالألوان وبعناوين عريضة. APR



نظرة أعمق 10.8

التطبيق السريرى

التهاب اللفافة الأخمصية

التهاب اللفافة الأخمصية (FASH-ee-EYE-tis) هو التهاب فى اللفافة الأ خمصية، ويشعر به عادةً كألم متكرر فى الكعب والجانب الإنسى من القدم. يكون ا لألم غالبًا أشد عند بدء المشى بعد الجلوس لفترة طويلة أو عند النهوض من السر ير. وعادةً ما يخف الألم خلال 5 إلى 10 دقائق، لكنها تحدث مرة أخرى بعد فترة الراحة التالية. الانثناء الظهرى لـ غالبًا ما يزيد القدم من شدة الألم. التهاب اللفافة الأخمصية عادةً ما ينتج عن الجر ى المفرط أو غير المعتاد والتمارين الهوائية عالية التأثير، خاصةً لدى الأشخاص الذ ين لا يرتدون أحذية رياضية داعمة بشكل صحيح.

الجدول 10.16	العضلات الذاتية للقدم		
الاسم	**الفعل**	**الارتباطات العظمية**	**التعصيب**
الجانب الظهرى (الأعلى) للقدم			
العضلة الباسطة لأصابع القدم القصيرة	تمدد السلامية القريبة للإصبع الأول وجميع السلاميات للأصابع الثانية إلى الرابعة	• العقب؛ الرباط الباسط السفلى للكاحل • السلامية القريبة للإصبع الأول، أوتار العضلة الباسط ة الطويلة للأصابع إلى السلاميات الوسطى والبع يدة للأصابع الثانية إلى الرابعة	العصب الظنبوبى العميق (العصب الشظوى)
الطبقة البطنية 1 (الأكثر سطحية)			
العضلة المثنية لأصابع القدم القصيرة	تثنى الأصابع الثانية إلى الرابعة؛ تدعم أقواس القدم	• العقب؛ اللفافة الأخمصية • السلاميات الوسطى للأصابع الثانية إلى الخامسة	العصب الأخمصى الإنسى
العضلة القابضة لإصبع القدم الصغير[93]	تقوم بثنى وإبعاد إصبع القدم الصغير؛ تدعم أقواس الق دم	• العقب؛ اللفافة الأخمصية • السلامية القريبة V	العصب الأخمصى الجانبى
العضلة القابضة لإبهام القدم	تقوم بإبعاد إبهام القدم؛ تدعم أقواس القدم	• العقب؛ اللفافة الأخمصية؛ الرباط المثنى • الفقرة القريبة الأولى	العصب الأخمصى الإنسى
الطبقة البطنية 2			
العضلة المربعة الأخمصية[94] (كوادراتوس بلانتى)	نفس وظيفة العضلة المثنية لأصابع القدم الطويلة (الجد ول 10.15)؛ ثنى الأصابع II–V والوظائف الحركية المرتبط ة بها	• رأسان على الجانبين الإنسى والجانبى للع قب • العظام السلامية البعيدة II–V عبر أوتار ا لعضلة المثنية الطويلة للأصابع	العصب الأخمصى الجانبى
أربعة عضلات لومبريكال (LUM-brih-cul)	ثنى اصابع القدم الثانية إلى الخامسة	• وتر العضلة المثنية للأصابع الطويلة • السلاميات القريبة II–V	الأعصاب الأخمصية ا لجانبية والوسطى
الطبقة البطنية 3			
العضلة المثنية القصيرة للإصبع الصغير	يثنى الإصبع الصغير	• العظم المشطّى الخامس، غمد العضلة الظنبوبية الطويلة • السلامى القريب الخامس	العصب الأخمصى الجانبى
ثنى الإبهام القصير	يثنى الإصبع الكبير	• العظم المكعبى؛ العظم الإسفنجى الجانبى؛ وتر الع ضلة الظنبوبية الخلفية • الفقرة القريبة الأولى	العصب الأخمصى الإنسى
مُقرب الإبهام	يقرب الإصبع الكبير	• مشط القدم الثانى إلى الرابع؛ وتر العضلة الشظو ية الطويلة؛ الأربطة عند قواعد الأصابع الثالث إلى الخامس • الفقرة القريبة الأولى	العصب الأخمصى الجانبى
الطبقة البطنية 4 (الأعمق)			
أربعة عضلات بين عظمية ظ هرية	تبعيد اصابع القدم الثانى إلى الرابع	• كل منها برأسين ينشآن من الأسطح المواجهة لعظمتين مشطيتين متجاورتين السلامي • ت القريبة الثانى إلى الرابع	العصب الأخمصى الجانبى
ثلاث عضلات بين عظمية أخم صية	تقريب اصابع القدم الثالث إلى الخامس	• الجانب الإنسى لعظام المشط الثالث إلى الخامس • السلاميات القريبة الثالث إلى الخامس	العصب الأخمصى الجانبى

[93] رقم = إصبع القدم؛ *minim* = الأصغر

[94] مربع = ذو أربعة أضلاع؛ *نباتات* = من منطقة باطن القدم

الطبقة البطنية 3

العضلات فى هذه الطبقة تخدم فقط إصبع القدم الكبير والصغير.
وهى العضلة المثنية القصيرة لإصبع القدم الصغير)flexor digiti minimi brevis(، الع
صلة المثنية القصيرة لإصبع القدم الكبير)flexor hallucis brevis(، و العضلة الصامة لإ
صبع القدم الكبير)adductor hallucis(. تمتلك العضلة الصامة لإصبع القدم الكبير رأساً م
ائلاً يمتد بشكل قطرى من منطقة منتصف باطن القدم إلى قاعدة إصبع القدم الكبير، ورأساً
عرضياً يمر عبر قواعد الأصابع الثانية إلى الرابعة ويلتقى بالرأس الطويل عند قاعدة إصبع القد
م الكبير.

الطبقة البطنية 4)الأعمق(

تتكون هذه الطبقة فقط من العضلات الصغيرة بين العظام المشطية—أر
بعة عضلات ظهرية وثلاث عضلات باطنية. كل عضلة بين عطمية ظهرية
ثنائية الريشة)bipennate(وتنشأ من عطمتين مشطيتين متجاورتين. أم
ا العضلات بين العطمية الباطنية فهى أحادية الريشة)unipennate(وتن
شأ من عطمة مشطية واحدة فقط لكل منها.

▶▶▶ طبق ما تعرفه

ليس لدى الجميع نفس العضلات. من المعلومات المقدمة فى
هذا الفصل، حدد على الأقل ثلاث عضلات يفتقدها بعض الأشخا
ص.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

22. فى منتصف خطوة، يكون لديك قدم واحدة على الأرض وأنت على وشك تأرجح الساق الأخرى إلى الأمام. ما هى العضلات التى تنتج حركات تلك الساق؟

23. سمِّ العضلات التى تعبر مفصلى الورك والركبة وتُنتج حركات فى كلا المفصلين.

24. أدرج الحركات الرئيسية لعضلات الحُجرات الأمامية، الوسطى، والخلفية للفخذ.

25. وصف أدوار الانثناء الأخمصى والانثناء الظهرى فى المشى. ما العضلات التى تُنتج هذه الحركات؟



نظرة أعمق 10.9

التطبيق السريرى

الإصابات الرياضية الشائعة

على الرغم من أن الجهاز العضلى يتعرض لأمراض أقل من معظم أجهزة الجسم الأ
خرى، إلا أنه عرضة بشكل خاص للإصابات الناتجة عن الإجهاد المفاجئ والشديد ا
لذى يتعرض له العضلات والأوتار. كل عام، يصاب آلاف الرياضيين من مستوى الم
دارس الثانوية إلى المستوى الاحترافى بنوع من الإصابات فى عضلاتهم، وكذلك يز
داد عدد الأشخاص الذين بدأوا بممارسة الجرى وأشكال أخرى من التمارين البدنية.
غالبًا ما يكون السبب هو المجهود المفرط دون تهيئة الجسم بشكل صحيح أو الإ
حماء المناسب. وقد تم وصف عدة أمثلة فى هذا الفصل بالفعل: متلازمة الحيز، إ
صابة الكفة المدورة، ألم الساق)shin splints(، تمزق وتر العقب)وتر أخيل(، وال
تهاب اللفافة الأخمصية. وهنا يتم وصف بعض الحالات الإضافية.

إصبع البيسبول — تمزقات فى أوتار الباسطة للأصابع نتيجة ارتطام كرة البيس
بول بأطراف الأصابع الممدودة.

ذراع الحاجز — تكلس غير طبيعى فى الحافة الجانبية للساعد نتيجة لتكرار الا
صطدام باللاعبين المنافسين.

تشنج العضلات)شارلى هورس(— أى تمزق مؤلم، أو تيبس، أو تجلط دموى
فى العضلة. غالبًا ما يحدث تشنج العضلة الرباعية الفخذ بسبب تدخلات كر
ة القدم.

ذراع الرامى — التهاب فى نقطة التعلق القريبة لعضلات ثنى الرسغ نتيجة الان
ثناء الشديد للرسغ عند رمى كرة البيسبول.

شد الفخذ — إجهاد فى عضلات المقرب للفخذ؛ شائع بين لاعبى الجمباز والرا
قصين الذين يؤدون حركات الانقسام والركلات العالية.

شد أوتار الركبة — إجهاد فى عضلات أوتار الركبة أو تمزق جزئى فى أوتارها، غا
لبًا مع وجود ورم دموى)تجلط دموى(فى اللفافة العريضة)fascia lata(. ى
حدث هذا غالبًا بسبب الركل المتكرر)كما فى كرة القدم الأمريكية وكرة القد
م(أو الجرى الطويل والشاق.

كوع لاعب التنس — التهاب فى نقطة التعلق القريبة لعضلات بسط الرسغ ع
لى اللقيمة الجانبية لعظم العضد.
يحدث هذا عندما تتوتر هذه العضلات بشكل متكرر أثناء ضربات اليد الخل
فية ثم تتعرض للإجهاد بسبب الارتطام المفاجئ بكرة التنس. أى نشاط يتط
لب حركات دورانية للساعد وقبضة قوية لليد)مثل استخدام مفك البراغى(
يمكن أن يسبب أعراض كوع لاعب التنس.

يمكن الوقاية من معظم الإصابات الرياضية من خلال التدريب المناسب.
الشخص الذى يبدأ فجأة بممارسة التمارين الرياضية الشديدة قد لا يمتلك كتلة ع
ضلية وعظمية كافية لتحمل الضغوط التى تفرضها هذه التمارين. يجب تطوير هذه
الكتلة تدريجياً. تمارين التمدد تحافظ على ليونة الأربطة وكبسولات المفاصل وبال
تالى تقلل من الإصابات.
تمارين الإحماء تعزز وظيفة الجهاز العضلى الهيكلى بشكل أكثر كفاءة وأقل عرضة
للإصابات بعدة طرق. والأهم من ذلك، الاعتدال مهم، حيث أن معظم الإصابات
تنتج ببساطة عن الإفراط فى استخدام العضلات. "لا ألم، لا مكسب" هو مفهوم خا
طئ وخطير.
يمكن علاج الإصابات العضلية فى البداية باستخدام "RICE": الراحة، الثلج، ال
ضغط، والرفع. تمنع الراحة المزيد من الإصابة وتسمح بحدوث عمليات الإصلاح؛
يقلل الثلج من التورم؛ يساعد الضغط باستخدام رباط مطاطى على منع تراكم السوا
ئل والتورم؛ ورفع الطرف المصاب يعزز تصريف الدم من المنطقة المتأثرة ويحد م
ن التورم الإضافى. إذا لم تكن هذه الإجراءات كافية، يمكن استخدام الأدوية المضاد
ة للالتهابات، بما فى ذلك الكورتيكوستيرويدات بالإضافة إلى الأسبرين وعوامل غ
ير ستيرويدية أخرى. الإصابات الخطيرة، مثل متلازمة الحيز، تتطلب عناية طبية طا
رئة.

دراسة

دليل

قيّم نتائج تعلمك

7. عضلة الرافعة العانية للحجاب الحاجز الحوضى، أعمق قسم من قاع الحوض (الجدول 10.7)

10.4 العضلات التى تؤثر على الكتف والطرف العلوى

بالنسبة للعضلات التالية، يجب معرفة نفس المعلومات كما فى القسم 10.2.

1. عضلات الصدر الصغرى، المنشار الأمامى، التلابيزيوس، رافع الكتف، الرومبويد الكبير، والرومبويد الصغير التى تتحكم فى حركة الكتف (الجدول 10.8)
2. العضلات التى تؤثر على العضد، بما فى ذلك الصدر الكبرى، الظهر العريض، الدالية، المدور الكبير، العضلة الكوراكوبراكيالية، وأربع عضلات الكفة المدورة (SITS) — فوق الشوكة، تحت الشوكة، المدور الصغير، وتحت الكتف (الجدول 10.9)
3. عضلات العضلة العضدية، العضلة ذات الرأسين العضدية، العضلة ثلاثية الرؤوس العضدية، العضلة العضدية الكعبرية، العضلة المدوّرة المربعة، العضلة المدوّرة المستعرضة، وعضلة الباسطة التى تتحكم فى حركة الساعد (الجدول 10.10)
4. العلاقة بين الرباط المثنى، الرباط الباسط، ونفق الرسغ مع أوتار عضلات الساعد
5. عضلات البالماريس لونغوس، المثنية الكعبرية للرسغ، المثنية الزندية للرسغ، والمثنية السطحية للأصابع فى القسم الأمامى السطحى للساعد، وعضلات المثنية العميقة للأصابع والمثنية الطويلة للإبهام فى القسم الأمامى العميق (الجدول 10.11)
6. عضلات الباسطة الكعبرية الطويلة للرسغ، الباسطة الكعبرية القصيرة للرسغ، الباسطة للأصابع، الباسطة للإصبع الصغير، والباسطة الزندية للرسغ فى القسم الخلفى السطحى (الجدول 10.11)
7. عضلات المبعدة الطويلة للإبهام، الباسطة القصيرة للإبهام، الباسطة الطويلة للإبهام، والباسطة للإصبع السبابة فى القسم الخلفى العميق (الجدول 10.11)
8. مجموعة عضلات الإبهام الداخلية: عضلة المقرب للإبهام، العضلة المبعدة القصيرة للإبهام، العضلة المثنية القصيرة للإبهام، وعضلة المعاكسة للإبهام (الجدول 10.12)
9. مجموعة عضلات اليد الداخلية الخاصة بالهين الصغرى: العضلة المبعدة للخنصر، العضلة المثنية القصيرة للخنصر، وعضلة المعاكسة للخنصر (الجدول 10.12)
10. مجموعة عضلات منتصف راحة اليد الداخلية: أربع عضلات بين عظمية ظهرية، ثلاث عضلات بين عظمية راحة، وأربع عضلات لمبركال (الجدول 10.12)

عضلات الزاوية الفموية، وعضلة خافض الشفة السفلية، وعضلات الذقن التى تؤثر على الشفاه (الجدول 10.1)

5. عضلات الخد (العضلة المضغية) (الجدول 10.1)
6. عضلة البلاتيسما التى تؤثر على الفك السفلى وجلد الرقبة (الجدول 10.1)
7. العضلات الداخلية للسان بشكل عام، وبعض العضلات الخارجية المحددة: عضلة الجينيوغلوسوس، والهيوغلوسوس، والستيلوغلوسوس، والبلاتوغلوسوس (الجدول 10.2)
8. عضلات الصدغ، والماضغ، والعضلة الجناحية الوسطى، والعضلة الجناحية الجانبية المسؤولة عن العض والمضغ (الجدول 10.2)
9. مجموعة العضلات فوق اللامية: العضلة ذات البطنين، والعضلة الجينيهيويدية، والعضلة الميلوهيويدية، والعضلة الستيلوهيويدية (الجدول 10.2)
10. مجموعة العضلات تحت اللامية: العضلة الأوموهيويدية، والعضلة الستيرنوهيويدية، والعضلة الثيروهيويدية، والعضلة الستيرنوثيرويدية (الجدول 10.2)
11. عضلات الضاغط البلعومى العلوية والوسطى والسفلية للحلق (الجدول 10.2)
12. عضلة القصبة الترقوية الخشائية وثلاث عضلات السكالين التى تثنى الرقبة، وعضلات الترابيزيوس، والسبلينياس كابيتيس، والسميسبيناليس كابيتيس التى تمددها (الجدول 10.3)

10.3 عضلات الجذع

بالنسبة للعضلات التالية، يجب معرفة نفس المعلومات كما فى القسم 10.2.

1. الحجاب الحاجز وعضلات التنفس الخارجية بين الأضلاع، والداخلية بين الأضلاع، والأعمق بين الأضلاع (الجدول 10.4)
2. العضلات المائلة الخارجية، والمائلة الداخلية، والعضلة المستعرضة للبطن، وعضلة المستقيم البطنى لجدار البطن الأمامى والجانبى (الجدول 10.5)
3. العضلة السطحية الباسطة للعمود الفقرى (وتقسيماتها) والعضلات العميقة نصف الشوكة الصدرية، والعضلة المربعة القطنية، وعضلة متعددة الأوتار فى الظهر (الجدول 10.6)
4. العجان، مثلثاه وعلاماته العظمية (الجدول 10.7)
5. عضلات الإسكيوكافيرنوزوس والبلبوسبونجيوسوس فى الفضاء العجانى السطحى لقاع الحوض (الجدول 10.7)
6. العضلة العجانية المستعرضة العميقة، وفى الإناث، ضاغط الإحليل فى الفضاء العجانى العميق لقاع الحوض، وعضلة المصرة الشرجية الخارجية لمثلث الشرج (الجدول 10.7)

لاختبار معرفتك، ناقش المواضيع التالية مع شريك دراستك أو كتابيًا، ويفضل أن يكون ذلك من الذاكرة.

10.1 التنظيم الهيكلى والوظيفى للعضلات

1. أى العضلات مدرجة فى الجهاز العضلى وأيها غير مدرجة؛ اسم العلم المتخصص فى الجهاز العضلى
2. وظائف الجهاز العضلى
3. علاقة بنية العضلة بالاندوميسيوم، البيريميسيوم، والإبى ميسيوم؛ ما يشكل حزمة العضلات الهيكلية وكيف ترتبط بهذه الأنسجة الضامة؛ وعلاقة اللفافة بالعضلة
4. تصنيف العضلات وفقًا لاتجاه حزمها
5. حجرات العضلات، الأغشية بين العظمية، والحواجز بين العضلية
6. الارتباطات العضلية المباشرة، غير المباشرة، المتحركة، والثابتة
7. الخلل فى مصطلحات الأصل–الإدخال للارتباطات العضلية
8. عمل العضلة؛ كيف يرتبط بتصنيف العضلات كـ المحركات الرئيسية، المتآزرة، المعاكسة، والمثبتة؛ ولماذا هذه المصطلحات ليست ثابتة لعضلة معينة بل تختلف من حركة مفصل إلى أخرى، وأمثلة لتوضيح هذه النقطة
9. العضلات الجوهرية مقابل العضلات الخارجية، مع أمثلة
10. الأعصاب والإمدادات الدموية للعضلات
11. الميزات التى تشير إليها الأسماء اللاتينية للعضلات عادةً، مع أمثلة

10.2 عضلات الرأس والرقبة

معرفة مواقع العضلات المسماة، وأفعالها، ومواضع ارتباطها بالعظام، وتصنيفها فى كل من المجموعات التالية، والقدرة على التعرف عليها فى عينات المختبر أو النماذج حسب المتطلبات فى دورتك.

1. عضلة الأوكسيبيتوفرونتاليس فى فروة الرأس، والحواجب، والجبهة (الجدول 10.1)
2. عضلات الأوربيكيولاريس أوكولى، والليفاتور بالبيراى سوبيريوريس، والكوروجاتور سوبرسيلى، التى تحرك الجفن والأنسجة المحيطة بالعين (الجدول 10.1)
3. عضلة النازاليس، التى توسع وتضغط فتحتى الأنف (الجدول 10.1)
4. عضلة الأوربيكيولاريس أوريس، والليفاتور لابى سوبيريوريس، والليفاتور أنغولى أوريس، والزيغوماتيكوس ماجور ومامينور، والريزوريوس، والديبريسر

STUDY GUIDE

10.5 العضلات المؤثرة على الورك والطرف السفلى

بالنسبة للعضلات التالية، يجب معرفة نفس المع لومات كما فى القسم 10.2.

1. عضلة الحرقفة القطنية للورك، وتقسيماتها ال فرعية الاثنين، الحرقفة والقطنية الكبرى)الج دول 10.13(
2. عضلة شد اللفافة الجانبية، العضلة الألوية الك برى، العضلة الألوية الوسطى، والعضلة ا لألوية الصغرى للورك والمؤخرة، وعلاقة العضلت ن الأوليين باللفافة الجانبية والشريط الحرقفى ال ظنبوبى)الجدول 10.13(
3. العضلات الدوارة الجانبية: العضلة الجيميلوس العلوية، الجيميلوس السفلية، العضلة السدادية الخارجية، العض لة السدادية الداخلية، العضلة الكمثرية، وعضلة المربعة الفخذية)الجدول 10.13(
4. أقسام عضلات الفخذ: الأمامية)الباسطة(، الوسطى)الشاردة(، و الخلفية)الطوية(
5. عضلات القسم الأوسط من الفخذ: العضلة ال شاردة القصيرة، العضلة الشاردة الطويلة، العضلة الشاردة الكبيرة، العضلة الرقيقة، والعضلة المشطية)الجدول 10.13(
6. عضلات القسم الأمامى من الفخذ: العضلة الس تورية وعضلة رباعية الرؤوس الفخذية، والرؤوس ا لأربعة لعضلة رباعية الرؤوس)الجدول 10.14(
7. عضلات أوتار الركبة فى القسم الخلفى من ال فخذ: العضلة ذات الرأسين الفخذية، العضلة ن صف الوترية، والعضلة نصف الغشائية)الجد ول 10.14(
8. أقسام عضلات الساق: الأمامية، الخلفية، والج انبية)الجدول 10.15(
9. عضلات الحجرة الأمامية للساق: العضلة الس طوية الثالثة، العضلة الباسطة للأصابع الط ويلة، العضلة الباسطة للإبهام الطويلة، والعضل ة الظنبوبية الأمامية فى الحجرة الأمامية)ا لجدول 10.15(
10. عضلات الحجرة الخلفية السطحية للساق: ا لعضلة المأبضية وعضلة الترايسبس سورى)العضلة ذات الرأسين الساقية والعضلة ال نعلية(، وعلاقة عضلة الترايسبس سورى بوتر ا لعقب وعظم العقب)الجدول 10.15(
11. عضلات الحجرة الخلفية العميقة للساق: الع ضلة المثنية للأصابع الطويلة، العضلة المثـ ية للإبهام الطويلة، والعضلة الظنبوبية الخلفي ة فى الحجرة الخلفية العميقة
12. عضلات الحجرة الجانبية للساق: العضلة الشظو ية القصيرة والعضلة الشظوية الطويلة)الجدو ل 10.15(
13. العضلة الباسطة القصيرة للأصابع فى الجانب الظهرى للقدم)الجدول 10.16(
14. الأربع حجرات العضلية)الطبقات(فى الجان ب البطنى للقدم، والعضلات فى كل منها: ا لعضلة المثنية القصيرة للأصابع، العضلة المبعدة للصغير، والعضلة المبعدة للإبهام)الطبقة 1(؛ الع ضلة الرباعية الأخمصية وأربع عضلات لوم بريكال)الطبقة 2(؛ العضلة المثنية القصيرة للص غير، العضلة المثنية القصيرة للإبهام، والعض لة المصافة للإبهام)الطبقة 3(؛ وأربع عضلا ت بين العظام الظهرية وثلاث عضلات بين العظام الأخمصية)الطبقة 4( )الجدول 10.16(

اختبار استدعائك

الإجابات فى الملحق أ

1. أى من العضلات التالية لا تساهم فى عضلة الكفة المدورة؟
   - أ. تيريس الصغرى
   - ب. تيريس الكبرى
   - ح. تحت الكتف
   - د. تحت الشوكة
   - هـ. فوق الشوكة
2. اصنع قبضة، ثم مد أصابعك. العضلات التى قامت بالفعل الأخير لها أوتار تمر عبر
   - أ. الرباط المثنى.
   - ب. الرباط الباسط.
   - ح. القناة الرسغية.
   - د. العضلة المدورة)rotator cuff(.
   - هـ. المنطقة الأخمصية للمعصم.
3. أى من هذه ليست عضلة فوق اللامية؟
   - أ. العضلة اللسانية الذقنية)genioglossus(
   - ب. العضلة الذقنية اللامية)geniohyoid(
   - ح. العضلة النتوئية اللامية)stylohyoid(
   - د. العضلة الميليهويدية
   - هـ. العضلة ذات البطنين.
4. أى من هذه العضلات هو موسع للعنق؟
   - أ. العضلة المائلة الخارجية
   - ب. العضلة القصية الترقوية الخشائية
   - ح. العضلة السباتية الرأسية
   - د. العضلة الحرقفية الأضلاع
   - هـ. العضلة الظهرية العريضة
5. أى من هذه عضلات قاع الحوض هى الأعمق ؟
   - أ. العضلة العانية العرصنية السطحية
   - ب. البولبوسبونجيوس
   - ح. العَضَلَةُ الإسْكِيُوكَافِيرْنُوسِيّة
   - د. العَضَلَةُ العَجْزِيّةُ العَمِيقَةُ العَرْصِنِيّة
   - هـ. رَافِعُ العَانَة
6. أىٌ هذه الأفعال لا يُؤَدّى بواسطة العَضَلَةُ المُرَبّعَةُ الرّقِيّة)الترابيزيوس(؟
   - أ. تمديد الرقبة
   - ب. خفض الكتف
   - ح. رفع الكتف
   - د. دوران الكتف
   - هـ. ضم العصا
7. كلاً من اليدين والقدمين تتحرك بواسطة عضلة أو عضلات تُسمى
   - أ. العضلة الباسطة للأصابع.
   - ب. العضلة المبعدة للإصبع الصغير.
   - ح. العضلة المثنية العميقة للأصابع.
   - د. العضلة المبعدة للإبهام.
   - هـ. العضلة المثنية الطويلة للأصابع.
8. أى من العضلات التالية لا تمدد مفصل الور ك؟
   - أ. عضلة الفخذ الرباعية
   - ب. العضلة الألوية الكبرى
   - ح. العضلة ذات الرأسين الفخذية
   - د. العضلة نصف الوترية
   - هـ. نصف غشائى
9. العضلات ______ كل من عضلة الساق الثنائية الرؤوس و تلتصقان بالكعب عبر وتر العقب)وتر أخيل(.
   - أ. نصف غشائى
   - ب. الظنبوبى الخلفى
   - ح. الظنبوبى الأمامى
   - د. العضلة النعلية
   - هـ. العضلة النباتية
10. أى من العضلات التالية ترفع الشفة العليا؟
   - أ. رافعة الجفن العلوية
   - ب. العضلة المحيطة بالفم)orbicularis oris(
   - ح. العضلة الوجنية الصغرى)zygomaticus minor(
   - د. العضلة الماضغة)masseter(
   - هـ. العضلة الذقنية)mentalis(
11. ما هى العضلة الرئيسية المسؤولة عن الشفط من خلال مصاصة المشروبات الغازية أو البصق كمية من السائل؟
12. حزمة من ألياف العضلات محاطة بالبيريميسيم تسمى ______.
13. ______ هو العضلة التى تولد أكبر قوة فى حركة المفصل المعينة.
14. العضلات الثلاث الكبيرة على الجانب الخل فى من الفخذ تُعرف عادةً باسم العضلات ______.

يدعم مفصل الكتف تسع عضلات تلتصق بعظم العضد، وتصنف إلى عضلات لوحية ومحورية بناءً على أصولها. تنشأ العضلات اللوحية من لوح الكتف، بينما تنشأ العضلات المحورية بشكل رئيسى من الهيكل المحورى. من بين هذه العض

دراسة دليل

19. العضلة التى تشبه الريشة إلى حد ما، مع أ لياف تقترب بشكل مائل من وترها من كلا الجا نبين، تُسمى ______ عضلة.

20. العضلة الدائرية التى تغلق فتحة فى الجسم تُسمى ______.

17. تلتقى الأنسجة اللفافية البطنية فى شريط لى فى وسط على البطن يسمى ______.

18. العضلة التى تعمل مع أخرى لإنتاج حركة ن فسها أو مشابهة تسمى ______.

15. أشرطة النسيج الصام المسماة ______ ما قبل- منع أوتار المثنية فى الساعد والساق من الارتفاع مثل أوتار القوس.

16. النصف الأمامى من العجان هو منطقة تسمى ______.

بناء مفرداتك الطبية

الإجابات فى الملحق أ

اذكر معنى كل عنصر من عناصر الكلمة، وقدم مص طلحًا طبيًا من هذا الفصل يستخدمه أو يستخدم ن سخة معدلة منه.

1. كابيتو-
2. إيرغو-
3. فاسك-
4. لابيو-
5. لومبو-
6. موس-
7. ميس-
8. أومو-
9. ين-
10. تيرت-

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

الإجابات فى الملحق أ

اشرح بإيجاز لماذا كل من العبارات التالية خاطئة، أ و أعد صياغتها لتصبح صحيحة.

1. كل ليف عضلى هيكلى محاط ببيريميسيم يفصله عن الألياف المجاورة.
2. عضلة الأوربيكولاريس أوريس هى عضلة مصرة.
3. عضلة البايسبس براشيى هى عضلة ثنائية الريش.
4. المُتعاون هو عضلة يكون عملها معاكسًا لعم ل العضلة الرئيسية (المُحفزة).
5. كل عضلة هيكلية تتلقى تعصيبًا من عصب شوكى واحد على الأقل.
6. يجب انقباض عضلات بين الأضلاع الداخلية من أجل الزفير.
7. عند صعود الدرج، توفر أوتار الركبة الكثير من الدفع الذى يرفع الجسم إلى كل درجة أعلى.
8. قطع العصب الثلاثى التوائم الكبير سيشل ع ضلات وجه أكثر من قطع العصب الوجهى.
9. العضلات الداخلية التالية لليد مدرجة من ا لأقوى إلى الأضعف: العضلة القابضة لأصغر الأصابع، العضلة الصامة للإبهام، ا لعضلة بين العظام الظهرية.
10. العضلة الظنبوبية الأمامية والعضلة الظنبوبية الخلفية هما عضلتا ن متعاونتان.

اختبار فهمك

1. كانت الاستئصال الجذرى للثدى، الذى كان ع لاجًا شائعًا لسرطان الثدى، يتضمن إزالة الع ضلة الصدرية الكبرى مع الثدى. ما هى الإعاقات الوظيفية التى قد تنتج عن ذلك؟ ما ه ى العضلات المتعاونة التى يمكن لأخصائى العلاج الط بيعى تدريب المريض على استخدامها لاستعادة بعض ا لوظائف المفقودة؟
2. إزالة العقد اللمفاوية السرطانية من الرقبة تت طلب أحيانًا إزالة عضلة القصية الترقوية الخ شائية على ذلك الجانب. كيف سيؤثر هذا على مدى حركة رأس المريض؟
3. غالبًا ما يؤدى تلف الأعصاب إلى فقدان وظائف العضلات. حدد أى عصب تعتقد أ نه قد تضرر إذا لوحظت كل من الحالات التالية لدى المريض: (أ) عدم القدرة على فتح عين واحدة؛ (ب) شلل الحجاب الحاجز؛ (ح) عدم قدرة الرجل على الح فاظ على الانتصاب أو تنطيف الإحليل من ا لبول؛ (د) صعوبة فى ثنى أو تمديد المرفق؛ (هـ) عدم القدرة على الوقوف على أطراف الأصابع.
4. الأشخاص الذين يرتدون الكعب العالى معظم الو قت قد يعانون من ألم "متلازمة الكعب العالى" متى يمشون حُفاة القدم أو يرتدون أحذية م سطحة. ما العضلة أو العضلات والأوتار الم شاركة؟ اشرح.
5. طالب يغادر السكن الجامعى ينحنى بطريقة صحيحة لرفع صندوق ثقيل من الكتب. ما هى العضلات الرئيسية المشاركة فى فرد الساقين لرفع الصندوق؟

الأطلس

B ب

التشريح الإقليمي والسطحي



How many muscles can you identify from their surface appearance?

Y/Shutterstock استوديو الصور

ATLAS OUTLINE

Anatomy & Physiology Revealed® 4.0

الوحدة ٦: الجهاز العضلي

استراتيجية التعلم ب.3

للاستفادة القصوى من هذا الأطلس، ارجع إلى الفصول السابقة أثناء دراستك لهذه الرسوم التوضيحية. على سبيل المثال، اربط رسومات الترقوة فى الشكل 8.32 بالصورة الفوتوغرافية فى الشكل ب.1. ادرس شكل الكتف فى الشكل 8.33 وانظر كم يمكنك تتبعه فى الصور الفوتوغرافية فى الشكل ب.9. تحقق مما إذا كان بإمكانك ربط الأوتار الظاهرة على اليد (انظر الشكل ب.19) بعضلات الساعد الموضحة فى الشكلين 10.29 و10.30، والملامح الخارجية لحزام الحوض (انظر الشكل ب.15) ببنية العظام فى القسم 8.5أ.

لتعلم تشريح السطح، هناك مورد متاح لك أكثر قيمة من أى نموذج مختبرى أو رسم توضيحى فى كتاب دراسى — وهو جسدك الخاص. لفهم أفضل لبنية الإنسان، قارن بين الفن والصور الفوتوغرافية فى هذا الكتاب وبين جسدك أو الهياكل الظاهرة على شريك الدراسة. بالإضافة إلى العظام والعضلات، يمكنك تحسس عدد من الشرايين السطحية، والأوردة، والأوتار، والأربطة، والغضاريف، وغيرها من الهياكل. من خلال تحسس مناطق مثل الكتف، والكوع، أو الكاحل، يمكنك تطوير صورة ذهنية للهياكل تحت السطحية أفضل من الصورة التى يمكنك الحصول عليها من خلال النظر إلى صور كتابية ثنائية الأبعاد. وكلما درست مع أشخاص آخرين، زادت تقديرك للتنوع فى بنية الإنسان وقدرتك على تطبيق معرفتك على مرضاك أو عملائك المستقبليين، الذين لن يشبهوا تمامًا أى رسم بيانى أو صورة فوتوغرافية فى الكتب التى رأيتها من قبل. من خلال المقارنات بين الفن، والتصوير الفوتوغرافى، والجسد الحى، ستحصل على فهم أعمق بكثير للجسم مقارنة بدراستك لهذا الأطلس بمعزل عن الفصول السابقة.

فى نهاية هذا الأطلس، يمكنك اختبار معرفتك بتشريح العضلات الظاهرة خارجيًا. تحتوى الصورتان فى الشكل ب.25 على 30 عضلة مرقمة وقائمة بـ 26 اسمًا، يظهر بعضها أكثر من مرة فى الصور وبعضها غير ظاهر على الإطلاق. حدد العضلات بأفضل ما تستطيع دون الرجوع إلى الرسوم التوضيحية السابقة، ثم تحقق من إجاباتك فى الملحق أ.

التشريح الإقليمى ب.1

بشكل عام، يتبع هذا الكتاب منهجًا نظاميًا فى دراسة التشريح، حيث يفحص بنية ووظيفة كل نظام عضوى، واحدًا تلو الآخر، بغض النظر عن المناطق الجسدية التى قد يعبرها. ومع ذلك، يفكر الأطباء والجراحون ويتصرفون وفقًا للتشريح الإقليمى. إذا حضر مريض يشكو من ألم فى الربع السفلى الأيمن (انظر الأطلس أ، الشكل أ.4أ)، فقد يكون المصدر الزائدة الدودية، أو مبيض، أو عضلة إربية، من بين احتمالات أخرى. السؤال هو التفكير ليس فى نظام عضوى كامل (فالمرئ على الأرجح غير ذى صلة بذلك الربع)، بل فى الأعضاء الموجودة فى تلك المنطقة وما هى الاحتمالات التى يجب أخذها بعين الاعتبار كسبب للألم. يقدم هذا الأطلس عدة مشاهد لمنطقة الجسم منطقة بمنطقة حتى تتمكن من رؤية بعض العلاقات المكانية التى توجد بين أنظمة الأعضاء التى تم تناولها فى فصولها المنفصلة.

أهمية التشريح السطحى ب.2

فى دراسة التشريح البشرى، من السهل أن ننشغل كثيرًا بالبنية الداخلية حتى ننسى أهمية ما يمكننا رؤيته ولمسه خارجيًا. ومع ذلك، فإن التشريح الخارجى والمظهر هما من الاهتمامات الرئيسية عند إجراء الفحص البدنى وفى العديد من جوانب رعاية المرضى. إن معرفة معالم سطح الجسم ضرورية للكفاءة فى العلاج الطبيعى، والإنعاش القلبى الرئوى، والجراحة، وعمل الأشعة السينية وتخطيط القلب الكهربائى، وإعطاء الحقن، وسحب الدم، والاستماع إلى أصوات القلب والتنفس، وقياس النبض وضغط الدم، وإيجاد نقاط الضغط لوقف النزيف الشريانى، من بين إجراءات أخرى. قد يكون محاولة خاطئة لأداء بعض هذه الإجراءات مع تجاهل أو سوء فهم التشريح الخارجى ضارة جدًا وقد تكون مميتة للمريض.

بعد دراستك لتشريح الهيكل العظمى والعضلى فى الفصول السابقة، هذا هو الوقت المناسب لدراسة سطح الجسم. الكثير مما نراه هناك يعكس البنية الأساسية للعظام والعضلات السطحية. يُقدم فى الأطلس أ نظرة عامة فوتوغرافية واسعة لتشريح السطح (انظر الشكل أ.3)، حيث يكون من الضرورى توفير مفردات للرجوع إليها فى الفصول اللاحقة. يُظهر هذا الأطلس تشريح السطح بتفصيل أدق حتى تتمكن من ربطه بتشريح الجهاز العضلى الهيكلى فى الفصول الثلاثة السابقة.



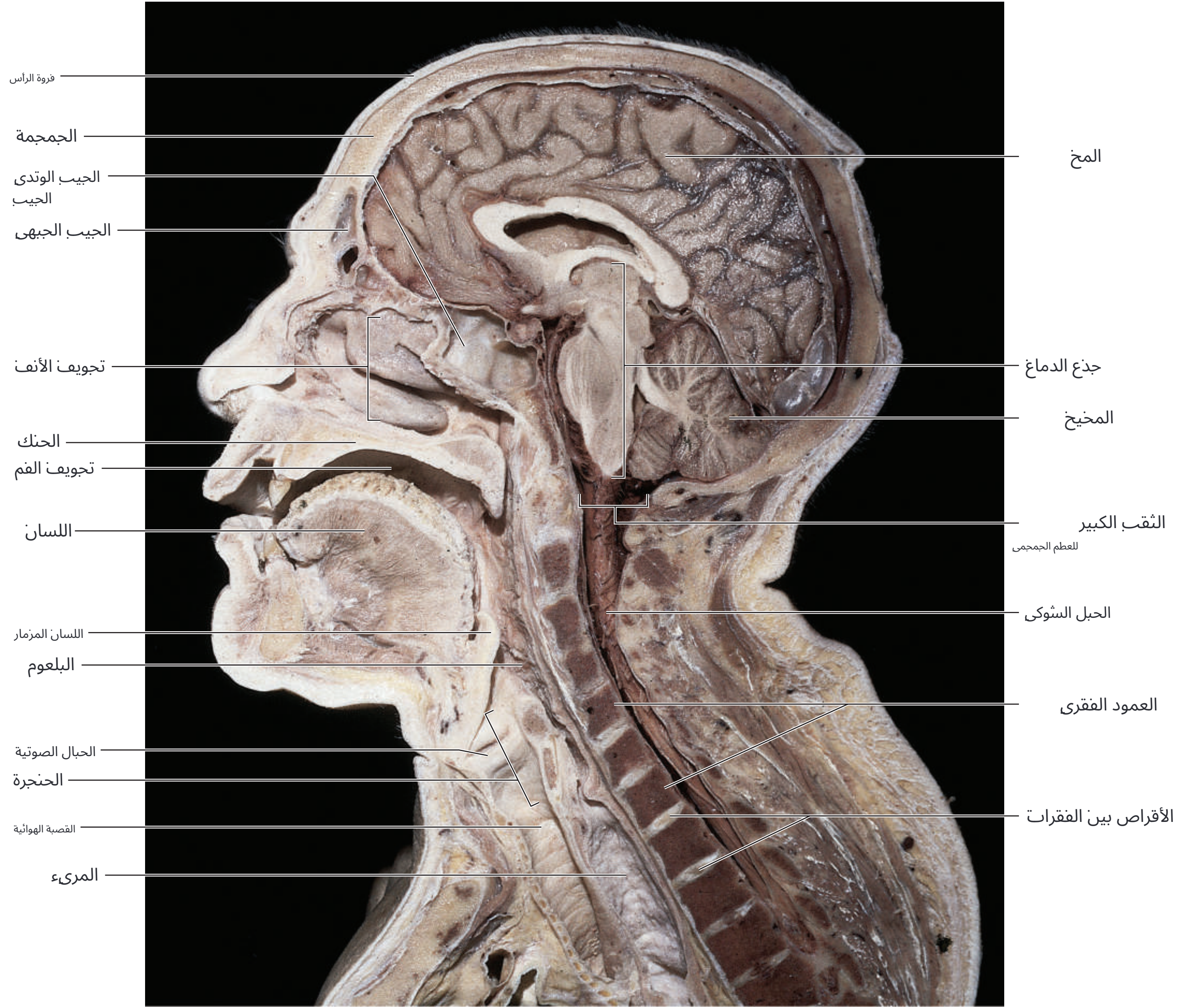
)أ(منظر جانبى



)ب(منظر أمامى

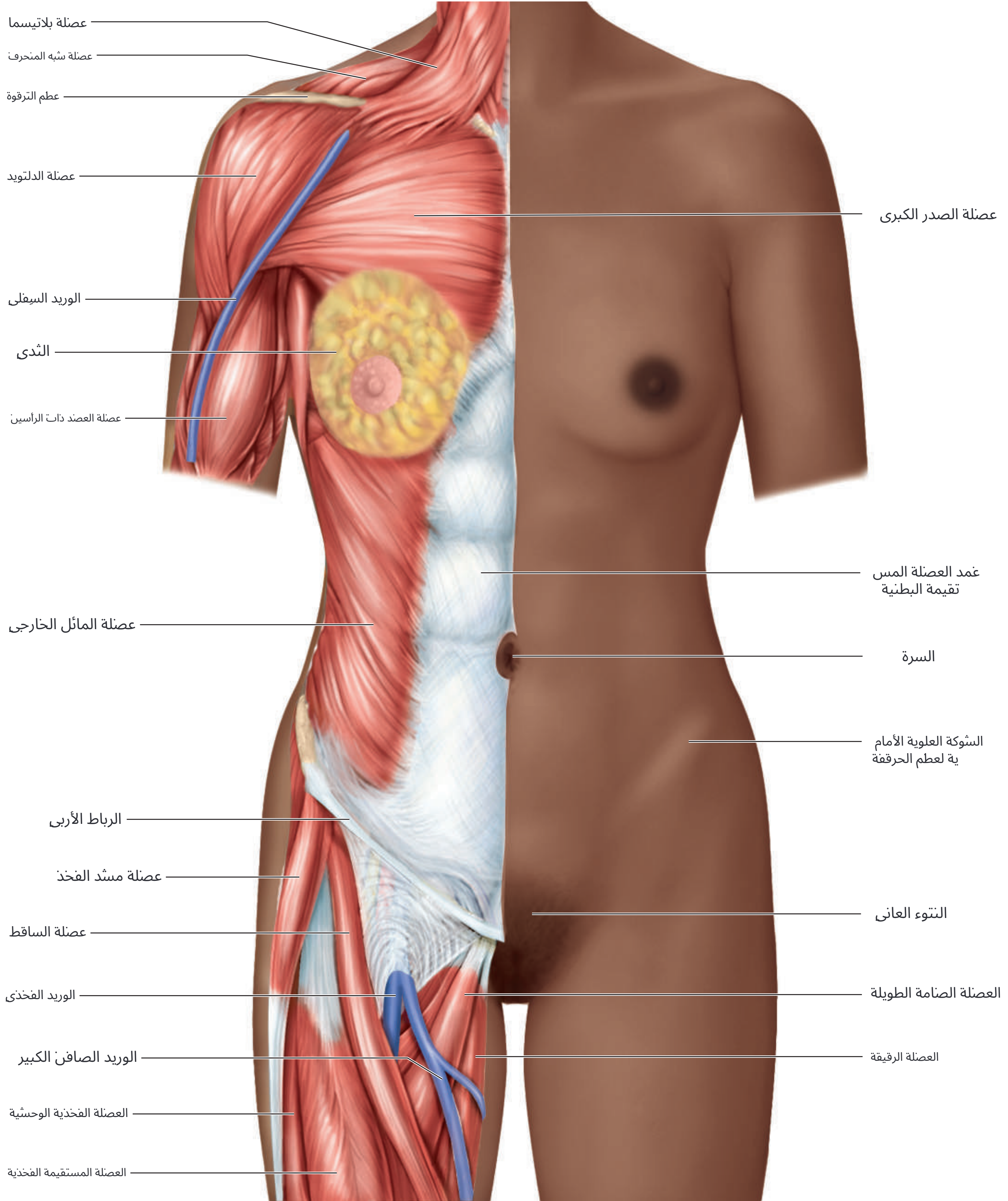
الشكل ب.1الرأس والرقبة.)أ(المناطق التشريحية للرأس.)ب(ملامح منطقة الوجه والصدر العلوى.
ما هى العضلة التى تقع تحت منطقة الفيلتروم؟ ما هى العضلة التى تشكل منحدر الكتف؟

a–b: جو ديغرانديس/كين سالادين

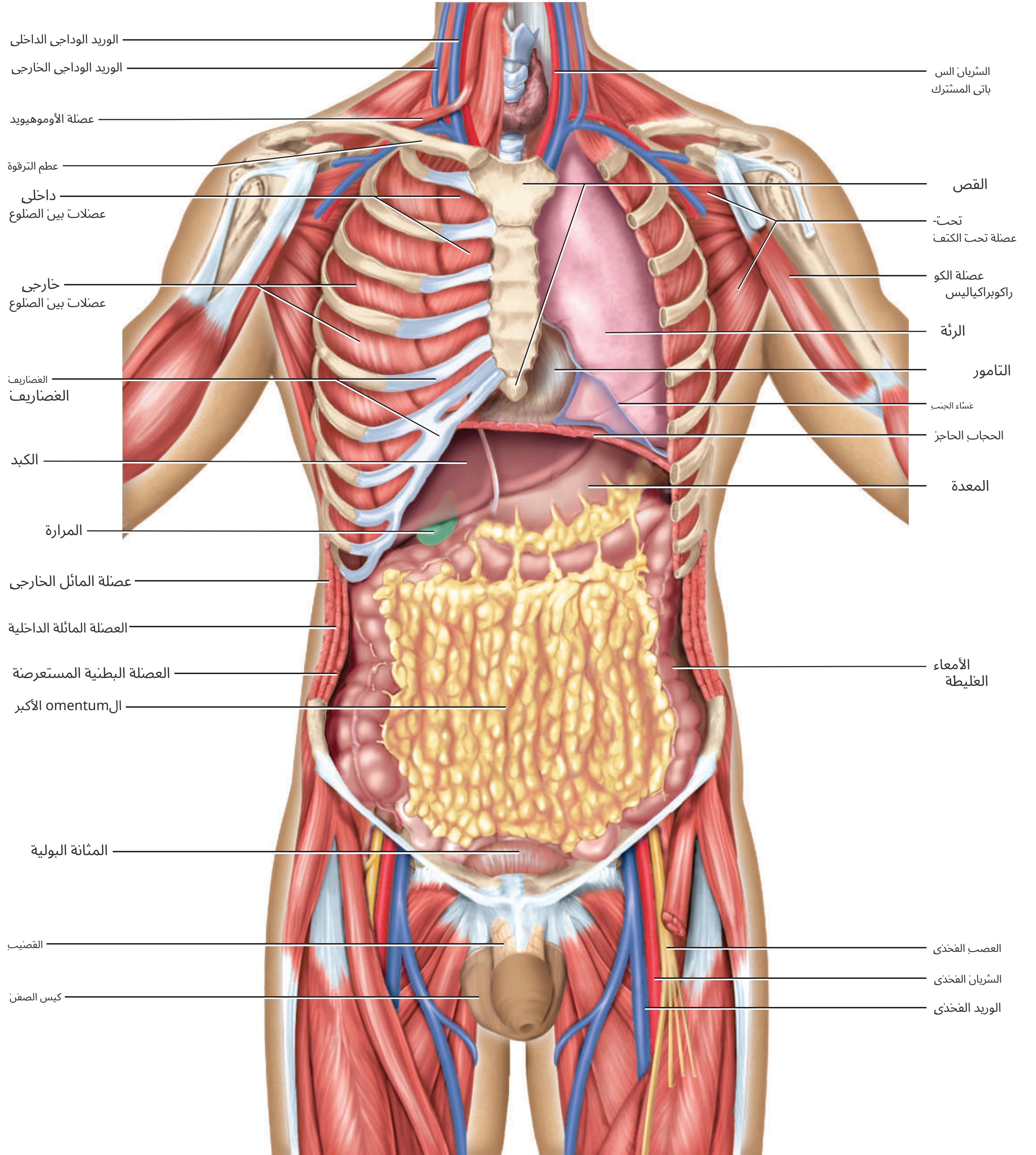


الشكل B.2 المقطع الوسيط للرأس. يعرض محتويات التجاويف القحفية والأنفية والفموية.

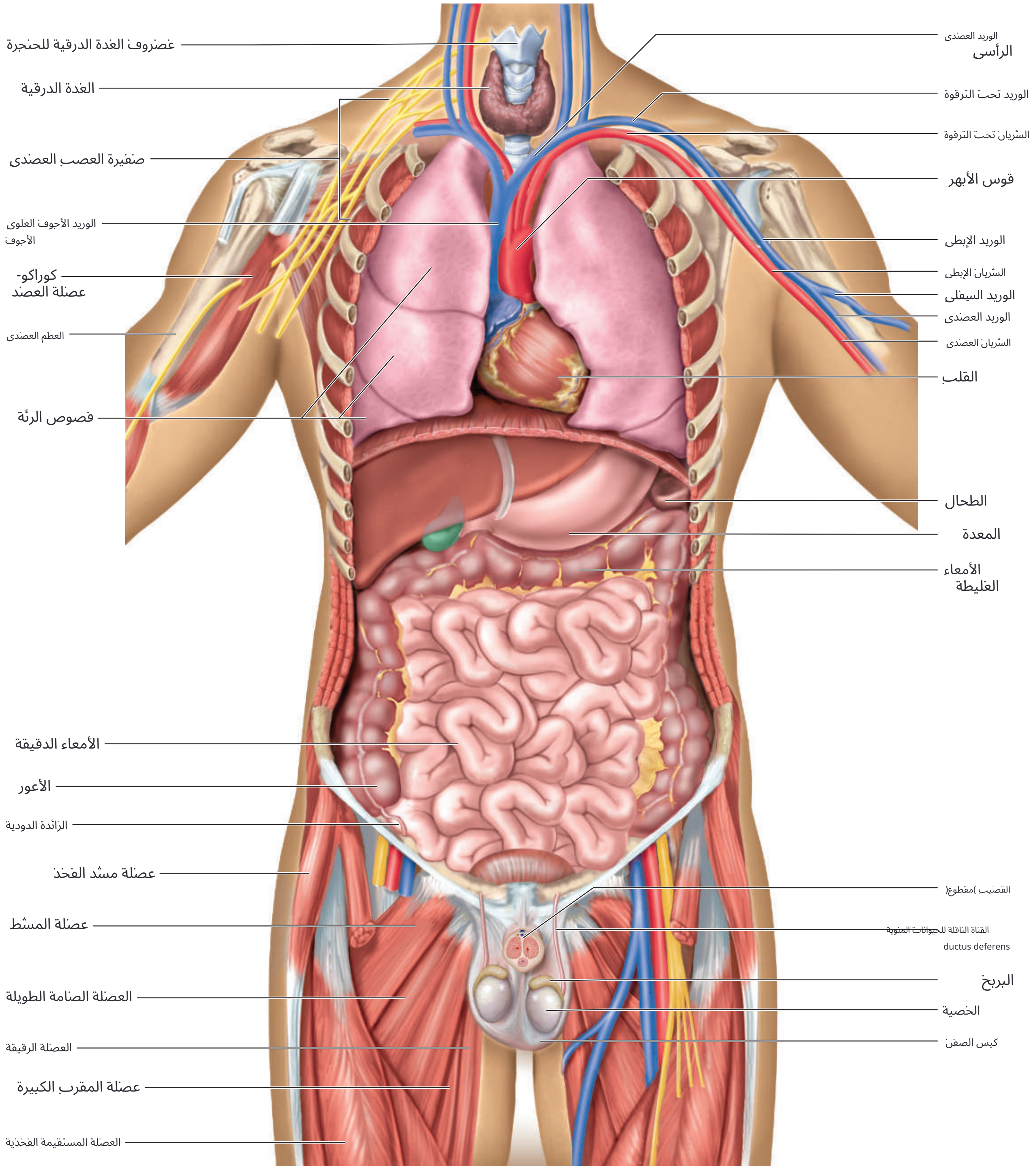
ريبيكا غراى/ماكجرو هيل



الشكل B.3 التشريح السطحى للجذع)أنثى(. يُطهر التشريح السطحى على الجانب التشريحى الأيسر، والهياكل الموجودة مباشرة تحت الجلد على الجانب الأيمن
.

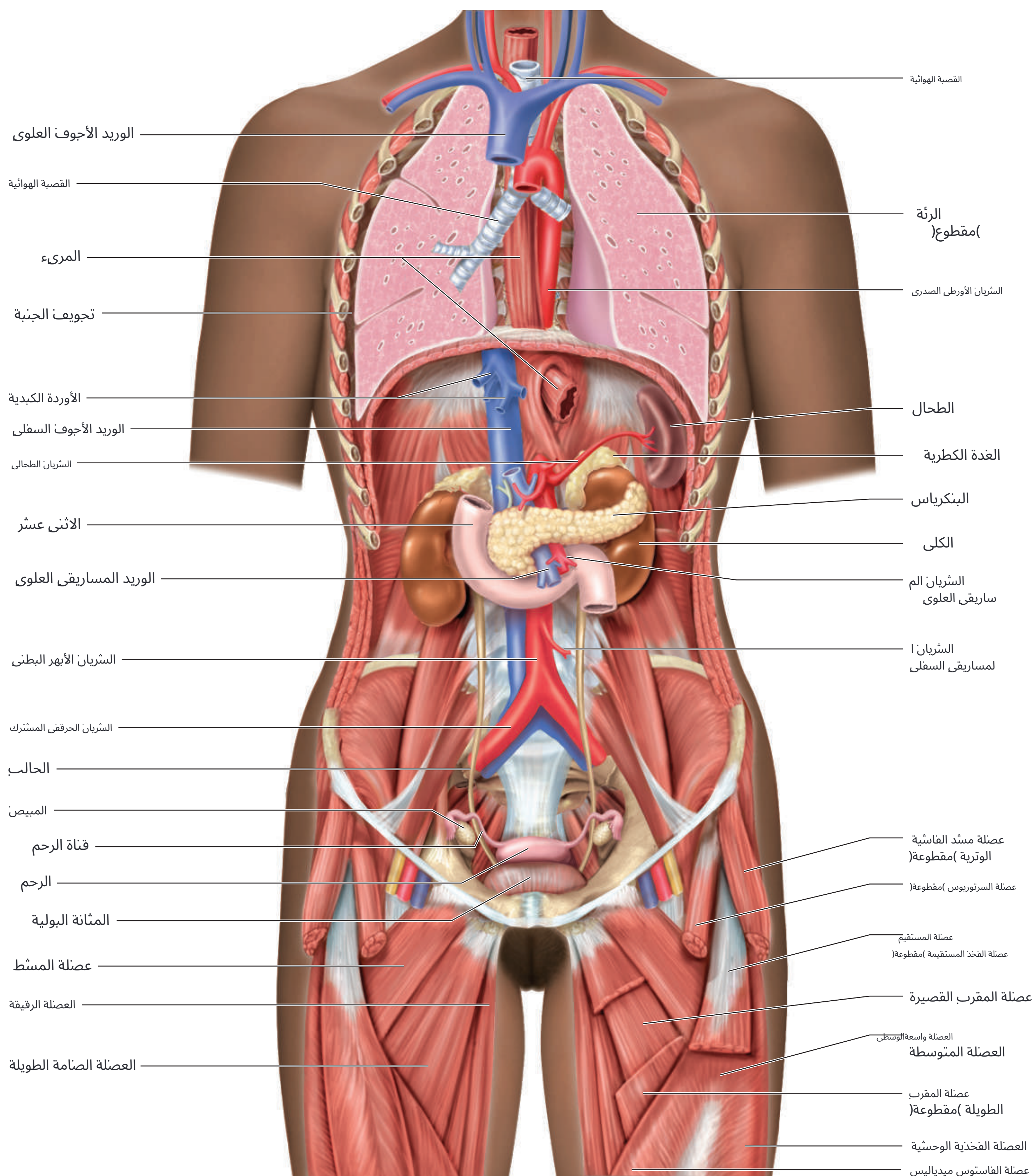


الشكل B.4 تشريح على مستوى القفص الصدرى والomentum الأكبر)ذكر(. تم إزالة جدار الجسم الأمامى، وتم إزالة الأضلاع، العضلات بين الأضلاع، والغشاء الجنبى من الجانب التشريحى الأيسر.

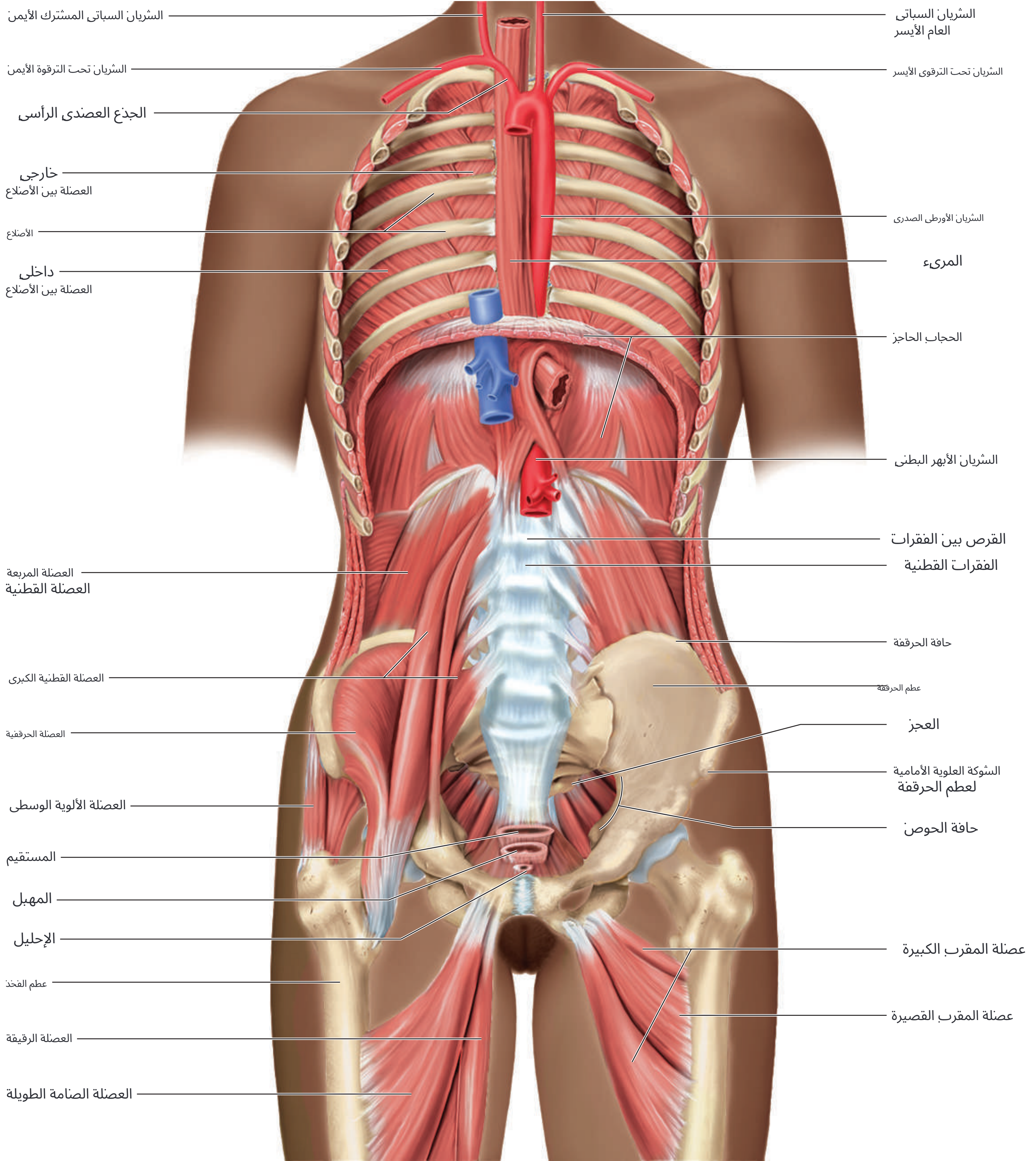


الشكل B.5 تشريح على مستوى الرئتين والأمعاء)ذكر(. تم إزالة عظم القص، الأضلاع، والملاءة الكبرى.

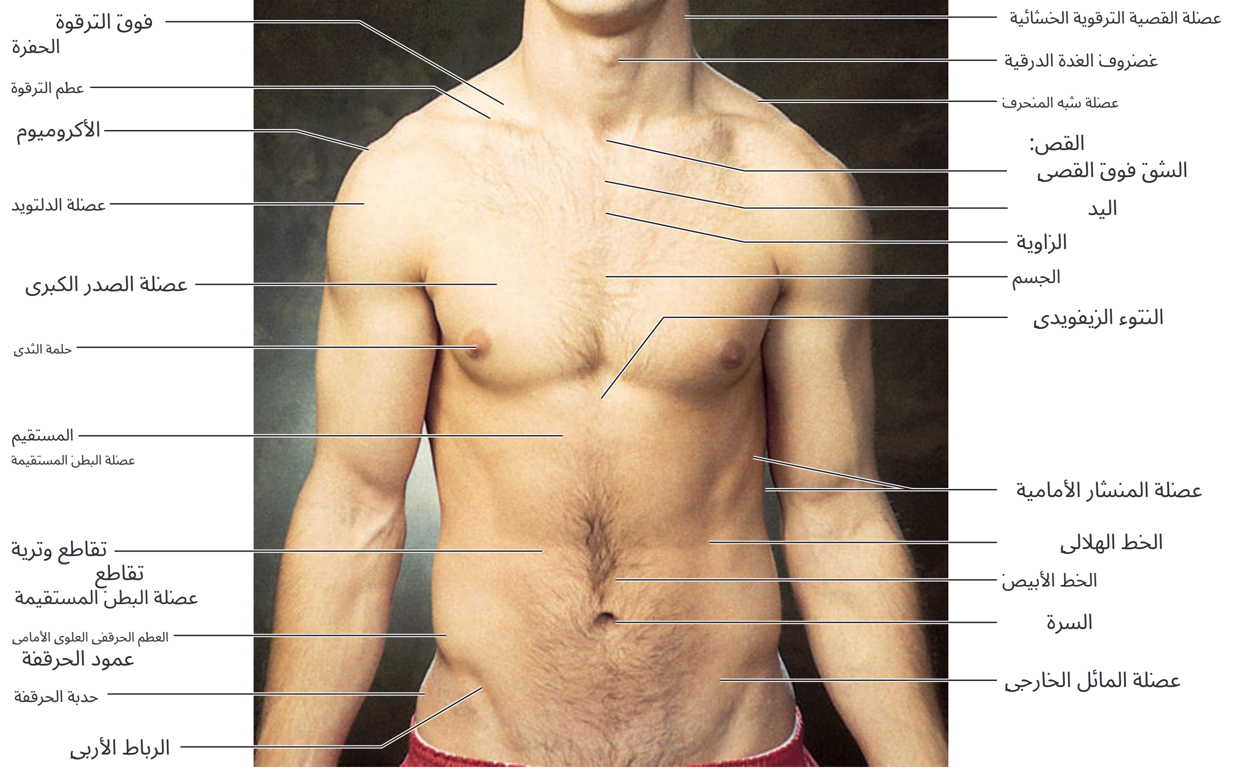
اذكر عدة أحشاء تحميها القفص الصدرى.



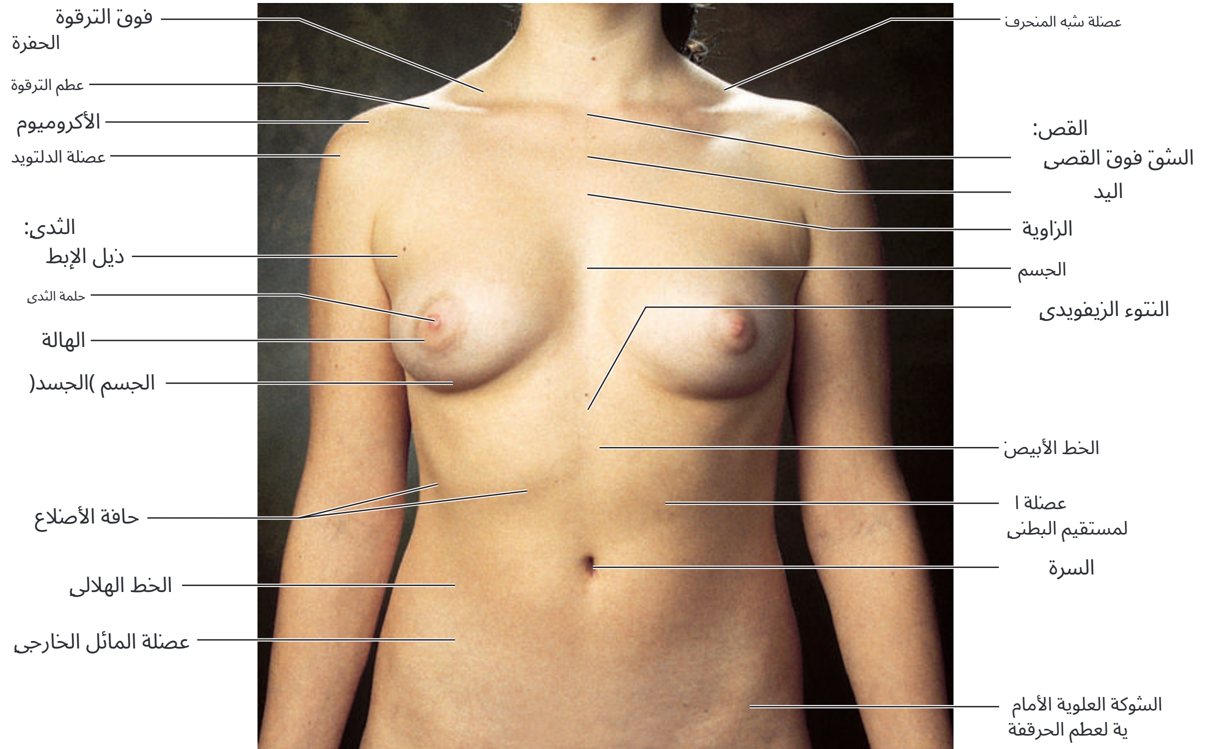
الشكل B.6 تشريح على مستوى الأحشاء خلف الصفاق)أنثى(. تم إزالة القلب، وتم تقطيع الرئتين من الأمام، وتم إزالة أحشاء تجويف الصفاق والصفاق نفسه.



الشكل B.7 تشريح على مستوى جدار الجسم الخلفى)أنثى(. تم إزالة الرئتين والأحشاء خلف الصفاق.



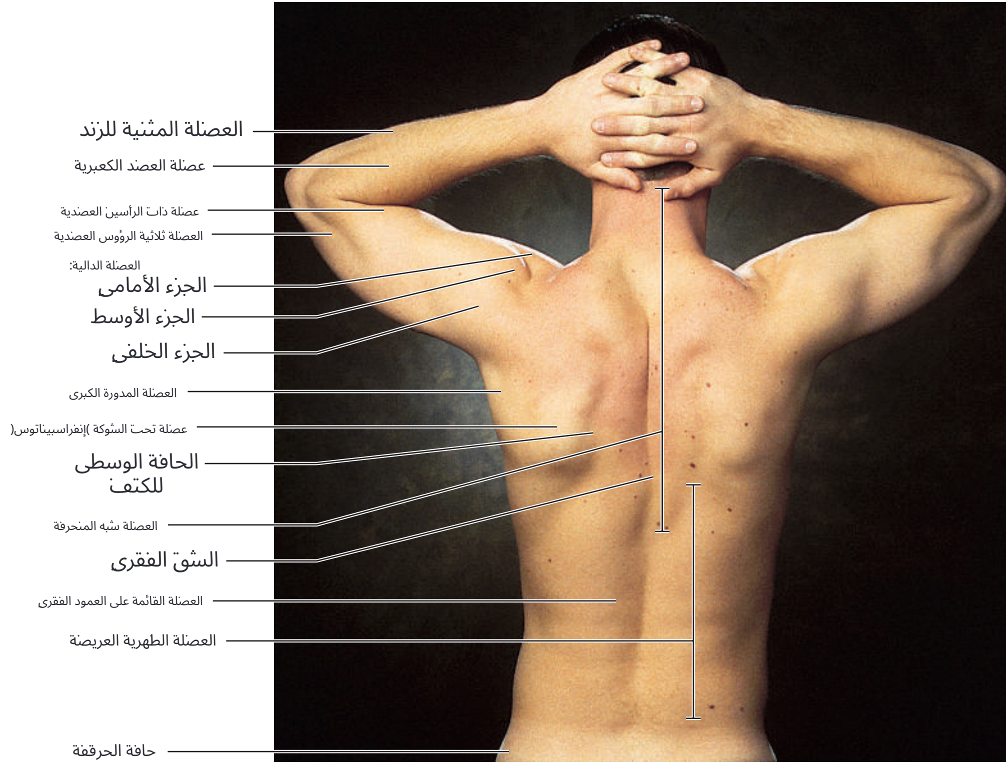
)أ(ذكر

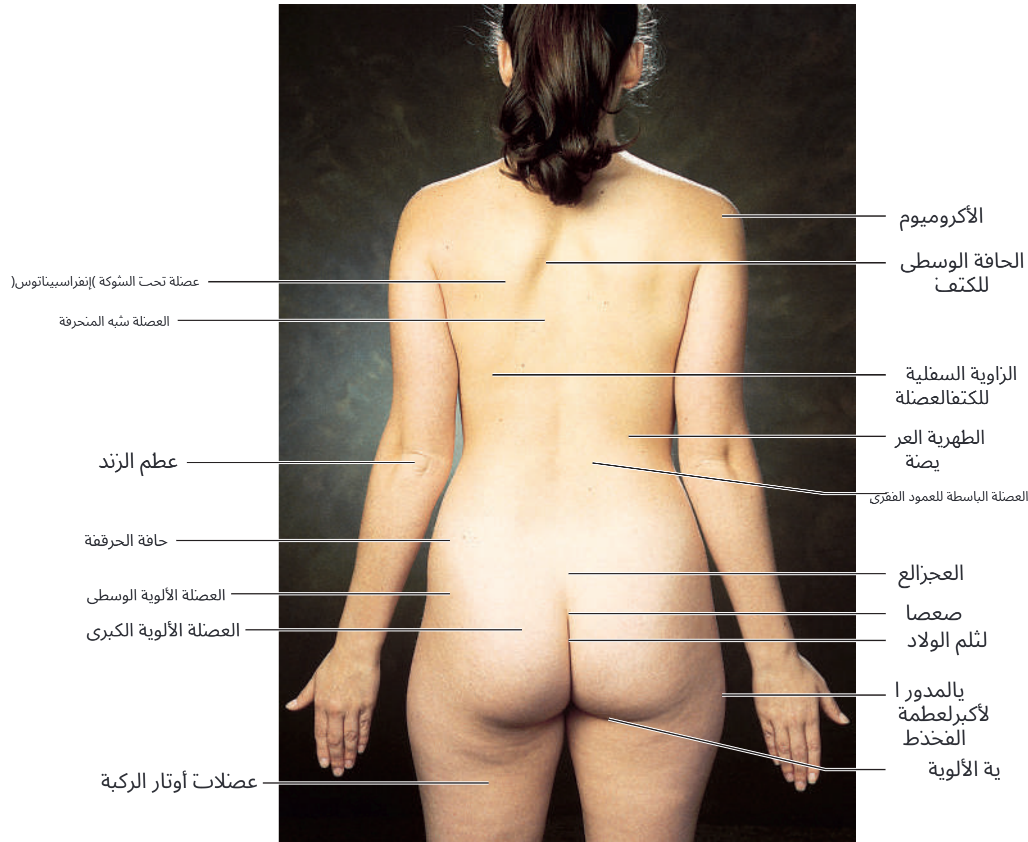


)ب(أنثى

الشكل B.8 الصدر والبطن)منظر أمامى(.)أ(ذكر.)ب(أنثى. جميع الميزات الموسومة مشتركة بين الجنسين، على الرغم من أن بعضها موسوم فقط على الصورة التى تظهره بشكل أفضل.
الأوتار على شكل حرف V على كل جانب من النافذة فوق القص فى الجزء)أ(تنتمى إلى أى عضلات؟

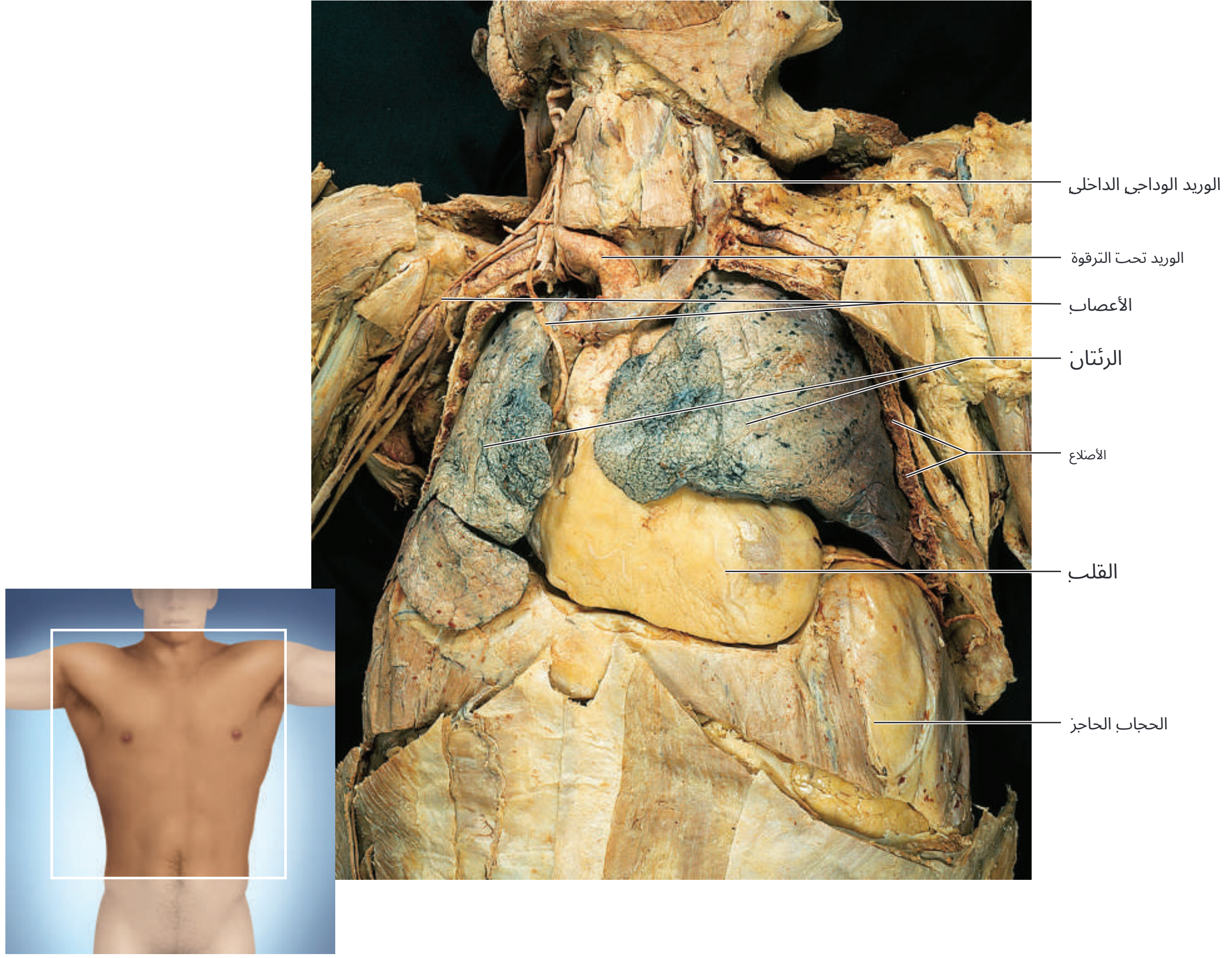
a–b: جو ديغرانديس/كين سالادين



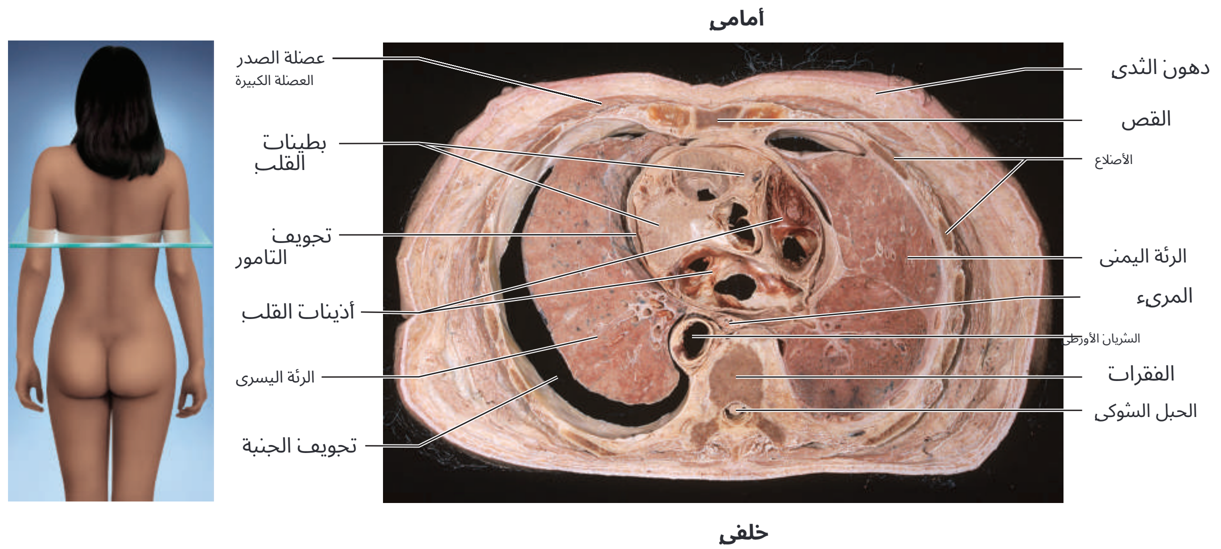


الشكل ب.9المنطقة الخلفية ومنطقة الأرداف.)أ(ذكر.)ب(أنثى. جميع الميزات الموسومة مشتركة بين الجنسين، رغم أن بعضها موسوم فقط على الصورة التى تظهره بشكل أفضل.

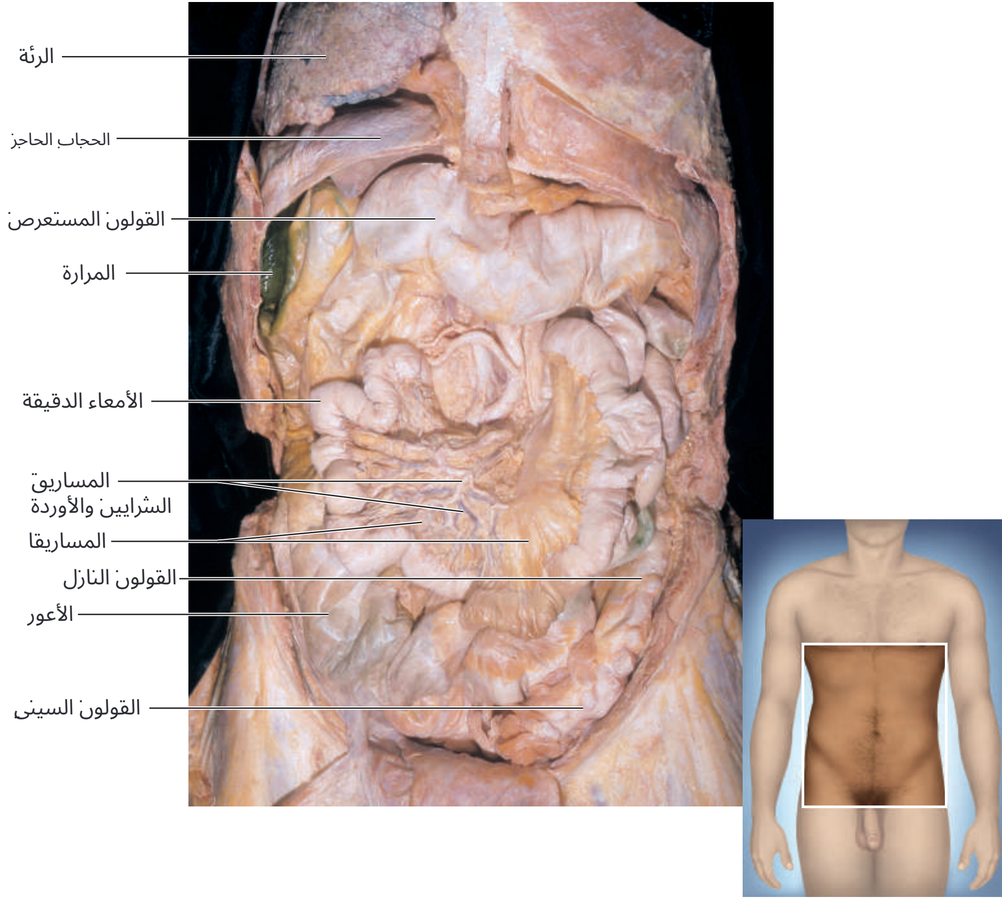
أ–ب:جو ديغرانديس/ماكجرو هيل



الشكل B.10 المنظر الأمامى لتجويف الصدر.
ريبيكا غراى/ماكجرو هيل

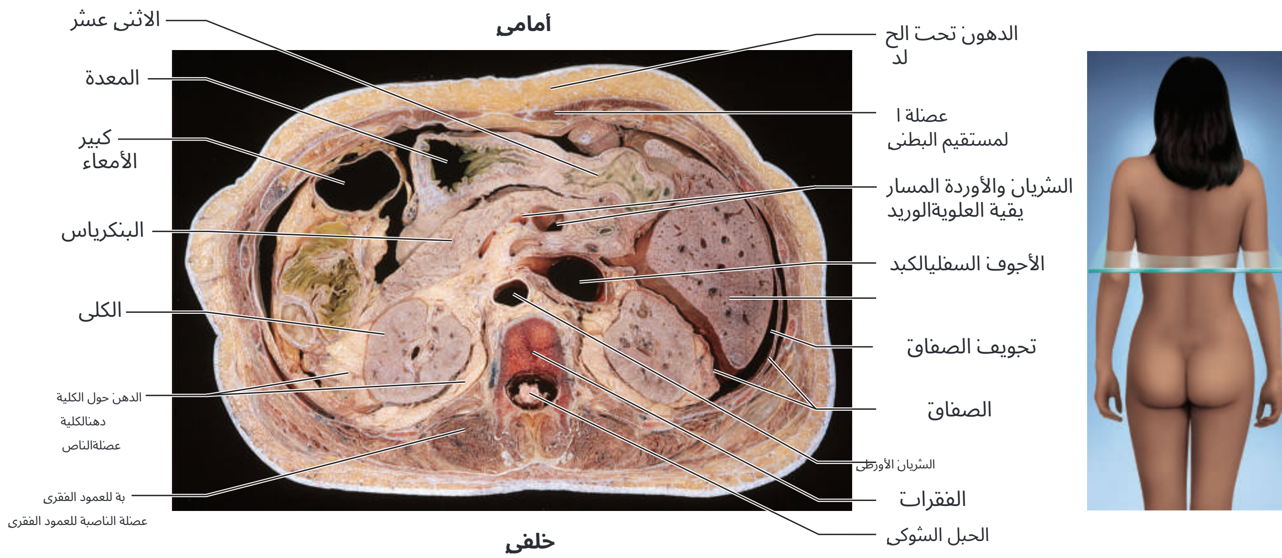


الشكل B.11 مقطع عرضى للصدر. المقطع مأخوذ عند المستوى الموضح فى الإدخال وموجه بنفس اتجاه جسم القارئ.
فى هذا المقطع، أى مصطلح يصف بشكل أفضل موقع الشريان الأورطى بالنسبة للقلب: خلفى، جانبى، سفلى، أم قريب؟
ريبيكا غراى / دون كينكيد / ماكجرو هيل



الشكل B.12 المنظر الأمامى لتجويف البطن.

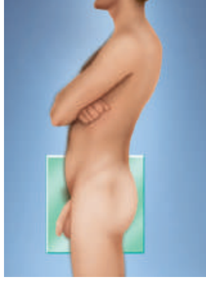
ريبيكا غراى / دون كينكيد / ماكجرو هيل

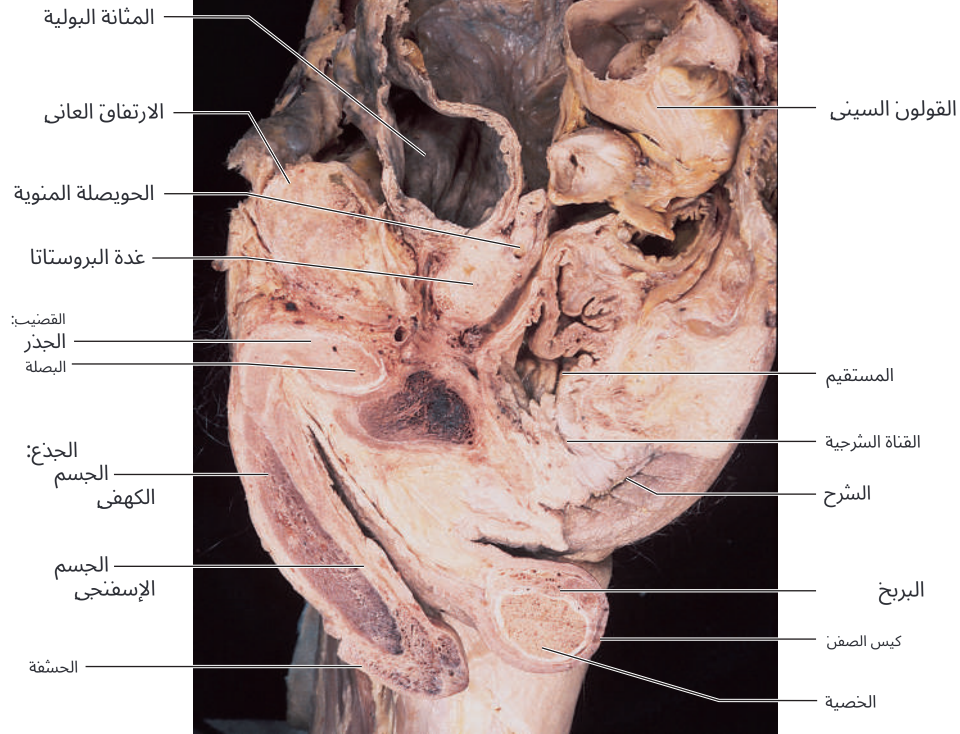


الشكل B.13 مقطع عرضى للبطن. المقطع مأخوذ عند المستوى الموضح فى الإطار الصغير وموجه بنفس اتجاه جسم القارئ.

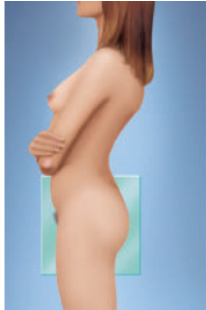
ما النسيج الموجود فى هذه الصورة والذى يقع مباشرة فوق عضلة المستقيم البطنى؟

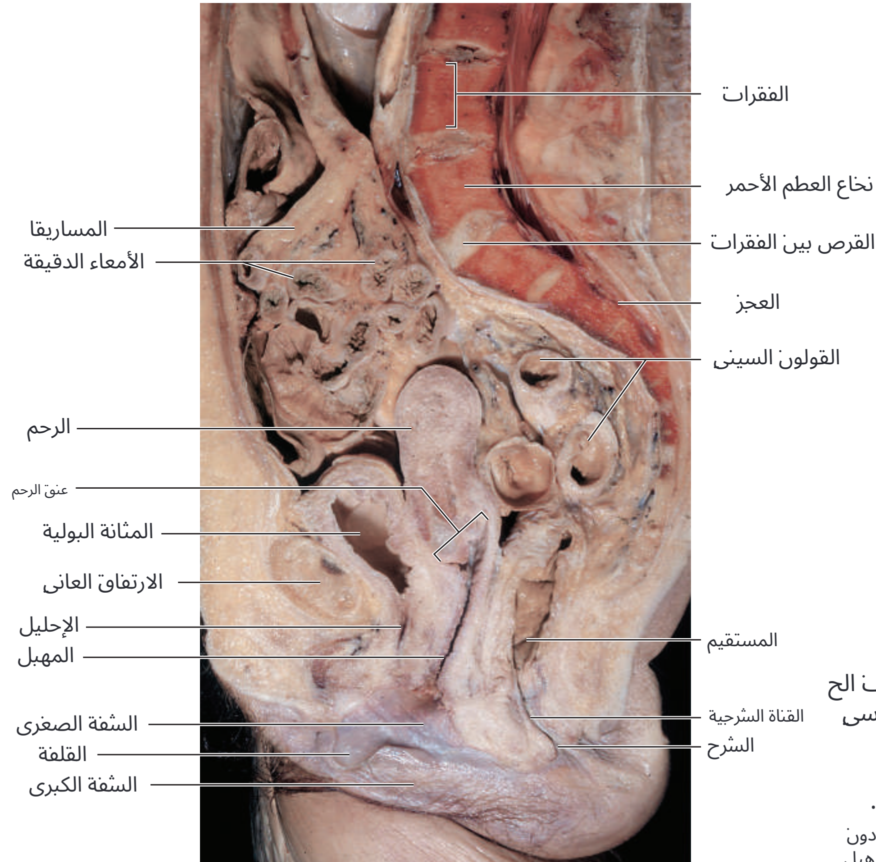
ريبيكا غراى / دون كينكيد / ماكجرو هيل





أ) ذكر



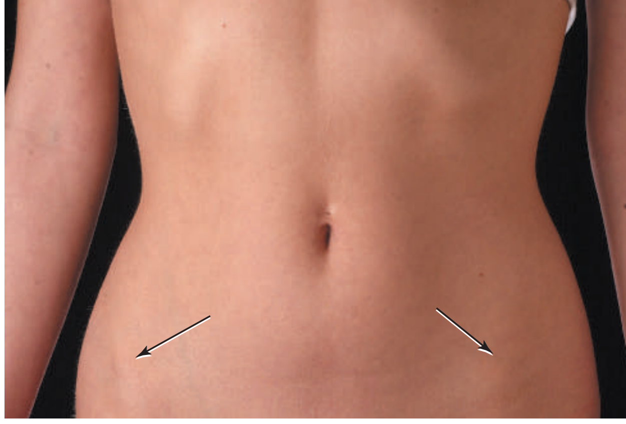


ب) أنثى

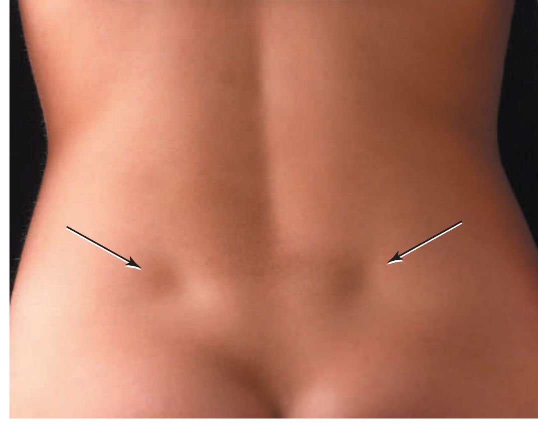
الشكل B.14 القطاعات الوسطى لتجويف الحوض (المنظر الجانبي الأيسر). الوضع الرأسي للرحم المشاهد هنا هو متغير شائع.

أ) ذكر. ب) أنثى.

أ: دينيس ستريت/ماكجرو هيل؛ ب: ريبيكا غراي/دون كينكيد/ماكجرو هيل



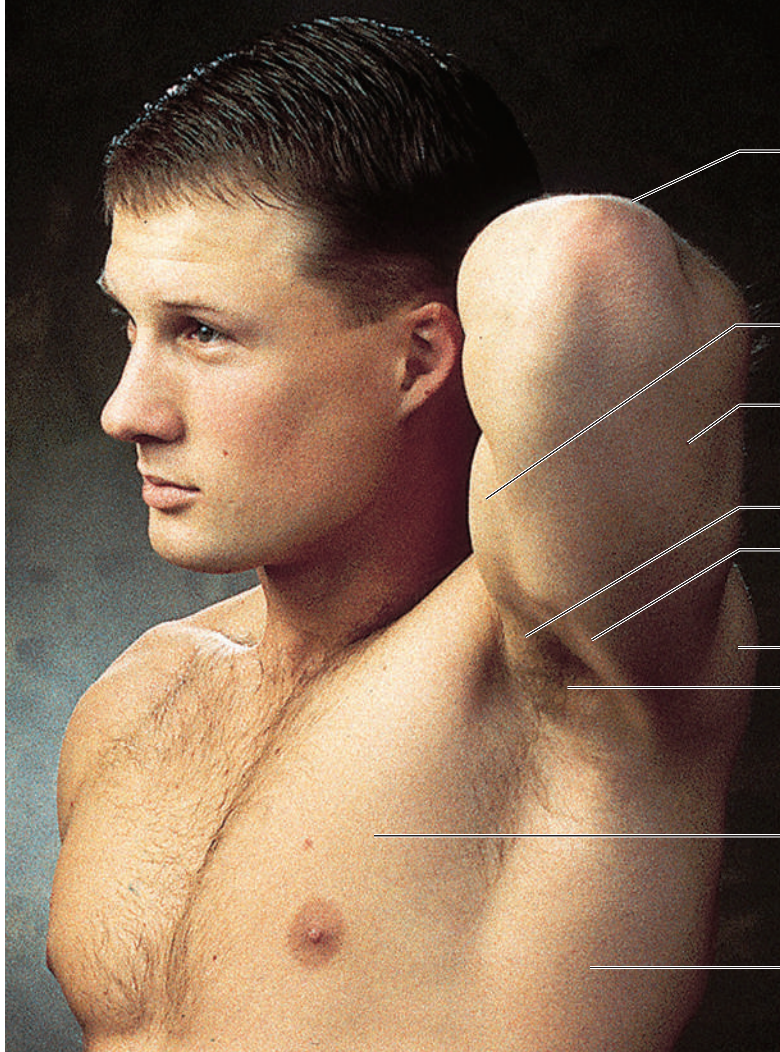
)أ(منظر أمامى



)ب(منظر خلفى

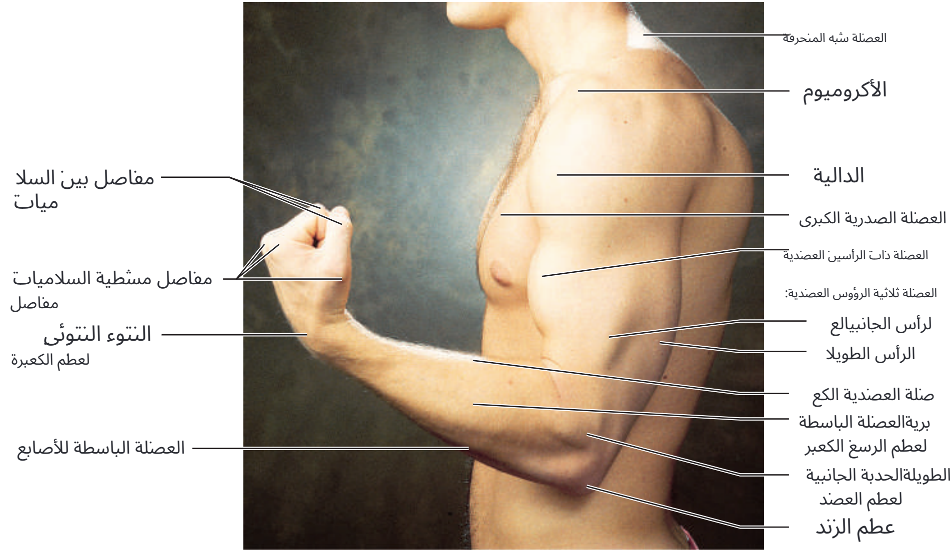
الشكل B.15 معالم الحوض.)أ(تُحدد الأشواك العلوية الأمامية لعظم الحرقفة بواسطة نتوءات أمامية جانبية)أسهم(عند المكان الذى تفتح فيه عادة جيوب البنطال الأمامية.)ب(تُحدد الأشواك العلوية الخلفية عند بعض الأشخاص بواسطة نتوءات فى منطقة العجز)أسهم(.

كلاهما: جو ديغرانديس/كين سالادين



الشكل B.16 منطقة الإبط.

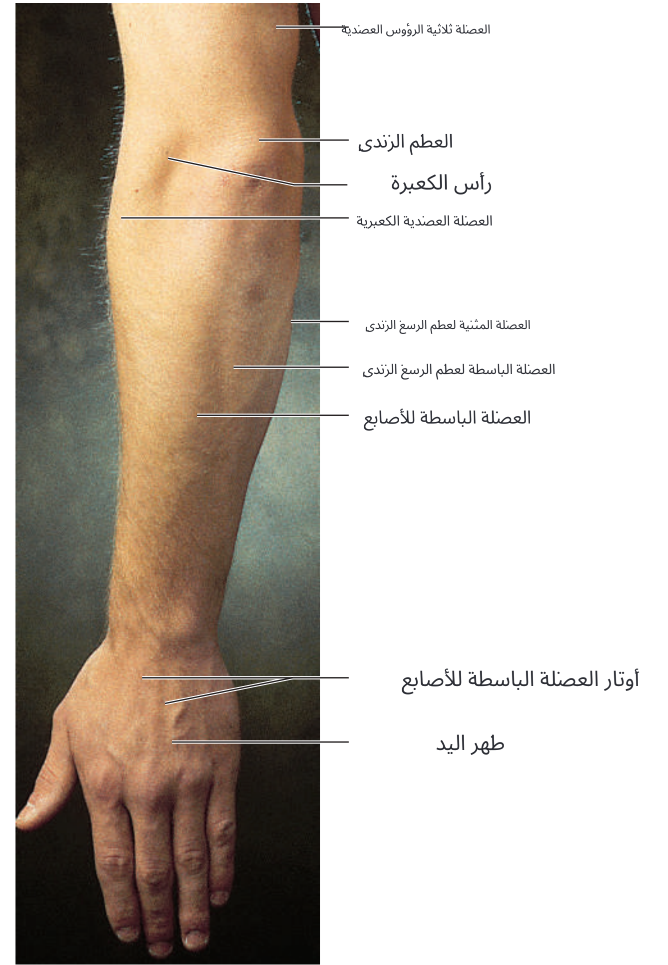
جو ديغرانديس/كين سالادين



الشكل B.17 الطرف العلوى)منظر جانبى أيسر(.
جو ديغرانديس/كين سالادين



)أ(منظر أمامى

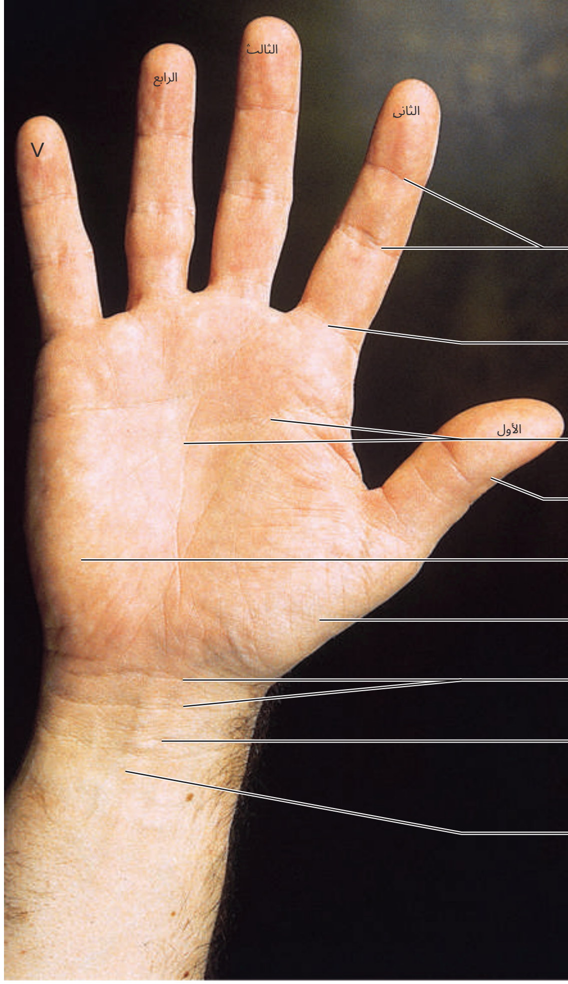


)ب(منظر خلفى

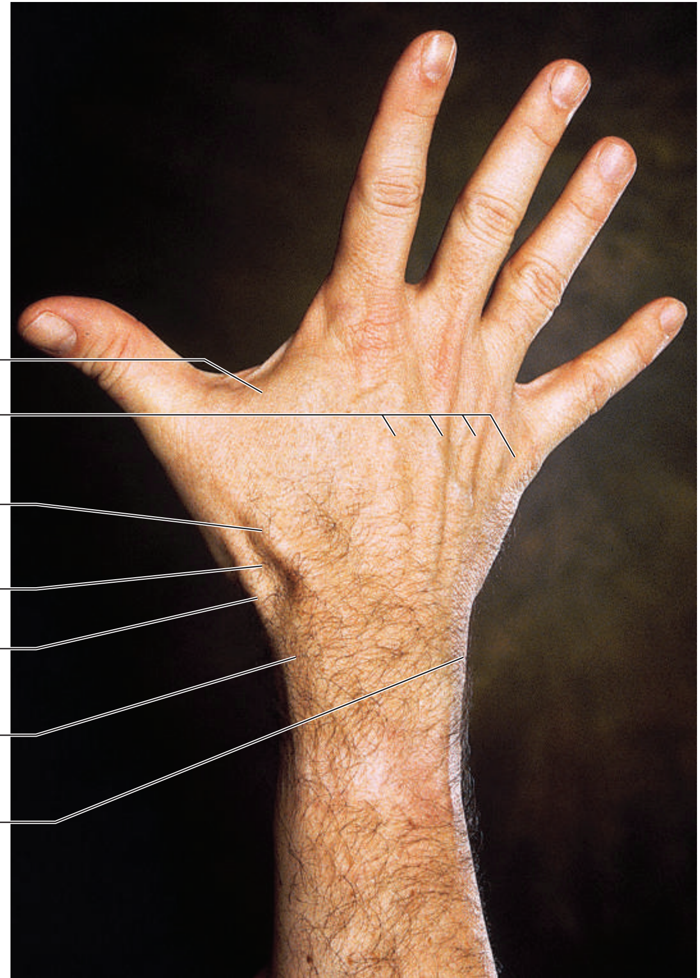
الشكل B.18 الساعد.)أ(منظر أمامى.)ب(منظر خلفى.

تم تسمية وترين فقط من وتر العضلة الباسطة للأصابع، لكن كم عدد الأوتار التى تمتلكها هذه العضلة بالكامل؟

a–b: جو ديغرانديس/كين سالادين



)أ(منظر أمامى)باطنى(

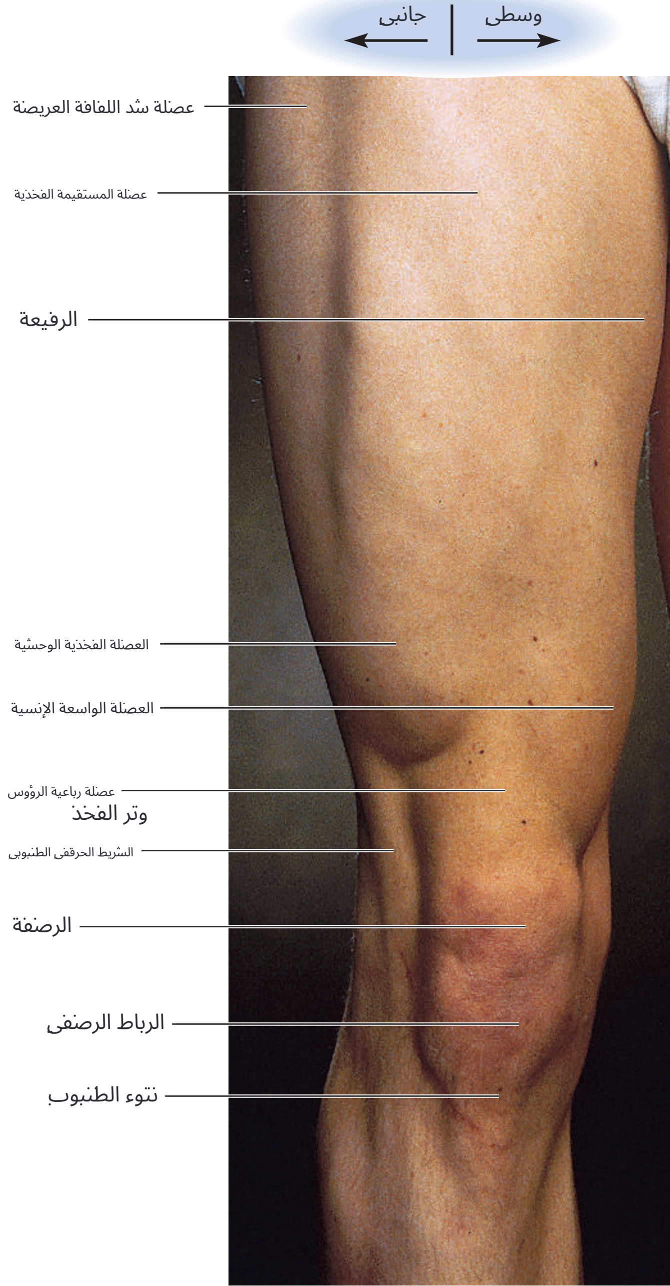


الرؤية الخلفية)الطهرية( )ب(

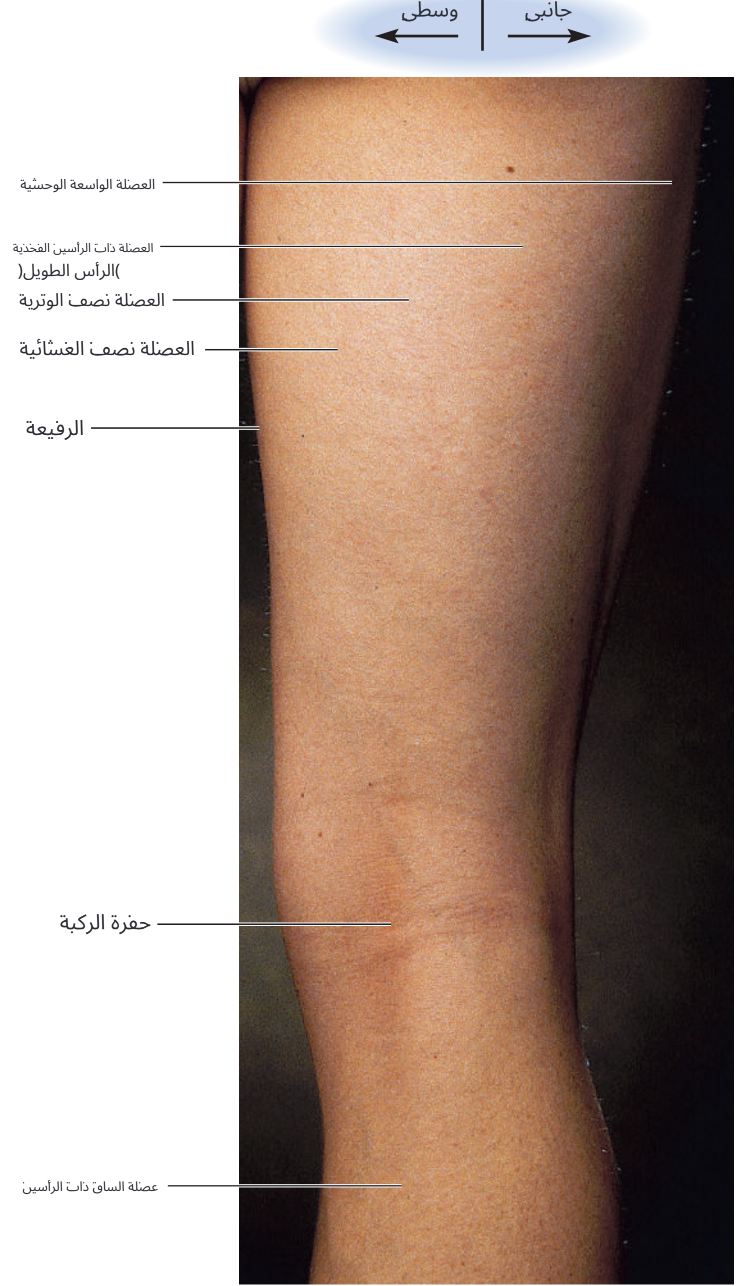
الشكل B.19 الرسغ واليد.)أ(الرؤية الأمامية)الراحتية(.)ب(الرؤية الخلفية)الطهرية(.

ضع علامة على النقطة فى صورة واحدة أو كلتا الصورتين حيثُ يمكنُ العثور على مفصل السرج.

كلاهما: جو ديغرانديس/كين سالادينْ



)أ(منظر أمامى

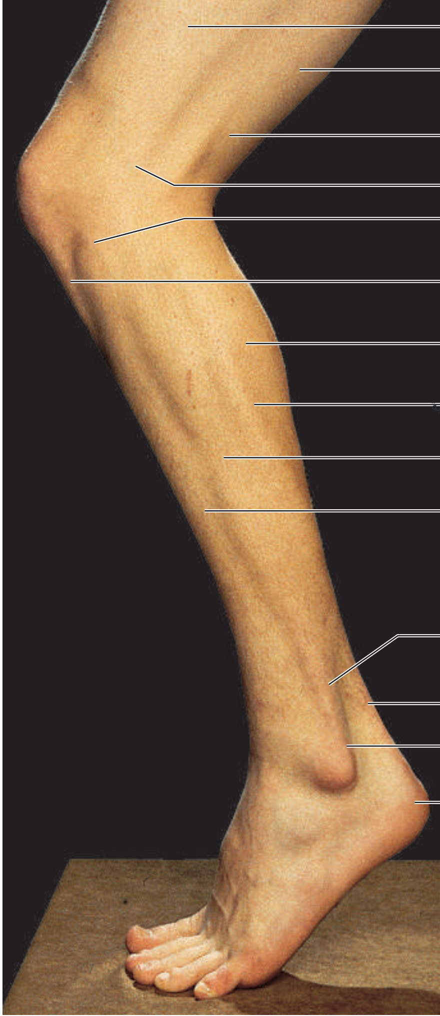


)ب(منظر خلفى

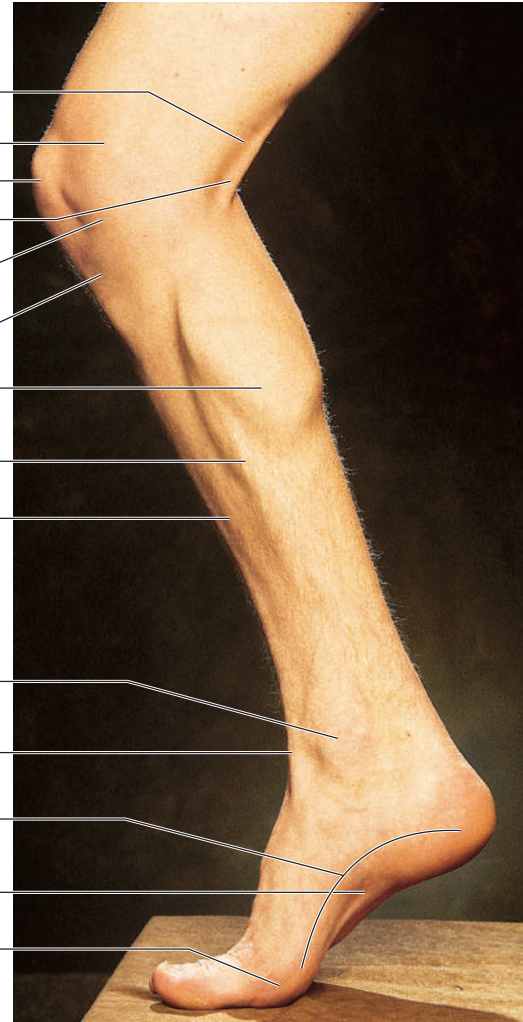
الشكل B.20 الفخذ والركبة.)أ(منظر أمامى.)ب(منظر خلفى. تم تحديد مواقع عصلات الفخذ الخلفية، لكن حدود العصلات الفردية نادراً ما تكون مرئية على شخص حى.

صنع علامة على النقطة فى الجزء)أ(حيث يمكن العثور على العصلة الواسعة المتوسطة.

a–b: جو ديغرانديس/كين سالادين



أ) منظر جانبى

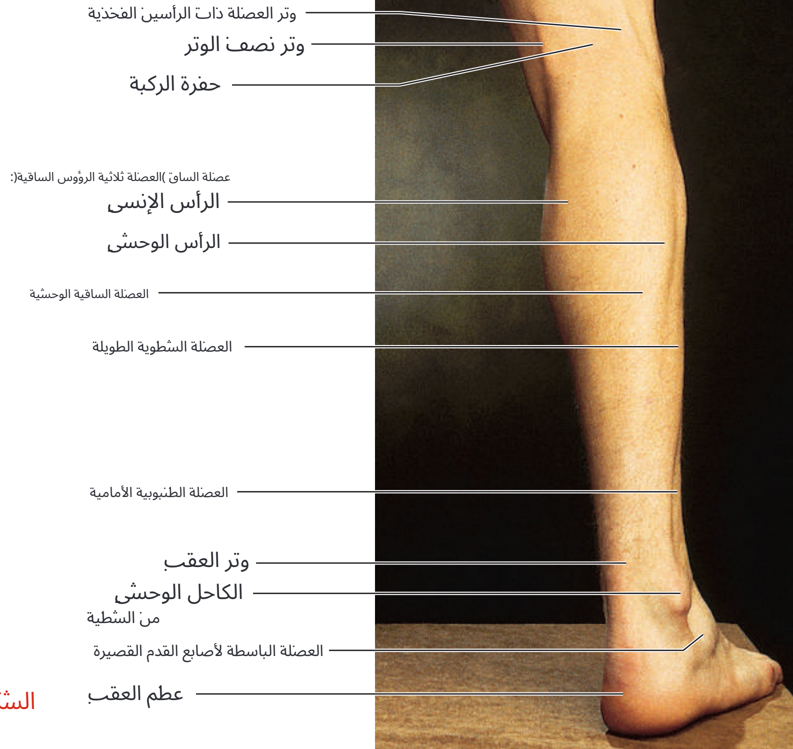


ب) منظر وسطى

الشكل B.21 الساق والقدم. أ) منظر جانبى للطرف الأيسر. ب) منظر وسطى للطرف الأيمن.

الكاحل الوحشى هو جزء من أى عظم؟

أ–ب: جو ديغرانديس/كين سالادين



الشكل B.22 الساق والقدم، منظر خلفى.

جو ديغرانديس/كين سالادين



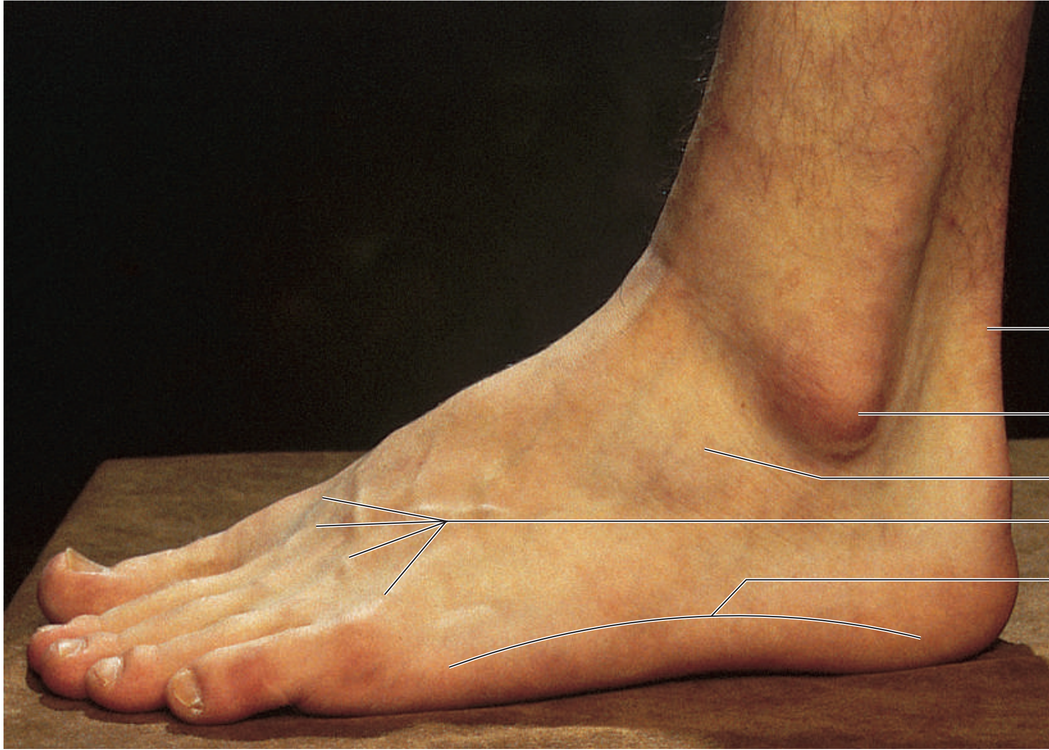
)أ(منظر أخمصى



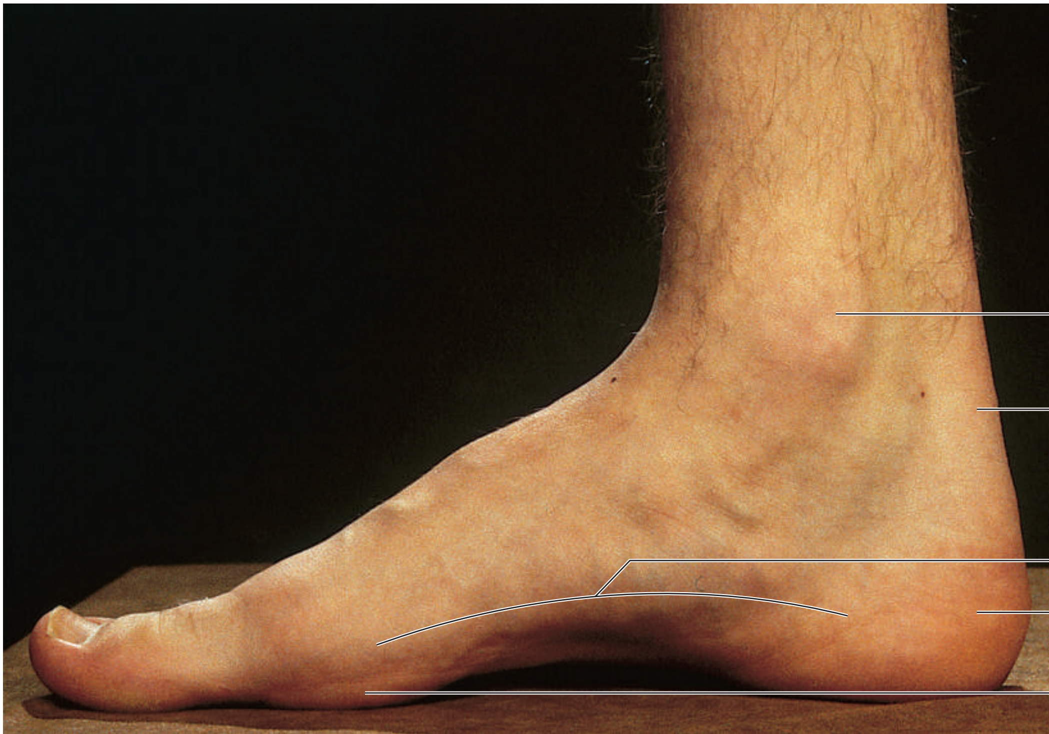
)ب(منظر ظهرى

الشكل B.23 القدم)المنظر الأخمصى والظهرى(.)أ(منظر أخمصى.)ب(منظر ظهرى. قارن الأقواس فى الجزء)أ(مع التشريح العظمى فى الشكل 8.43.

أ–ب: جو ديغرانديس/كين سالادين



)أ(منظر جانبى



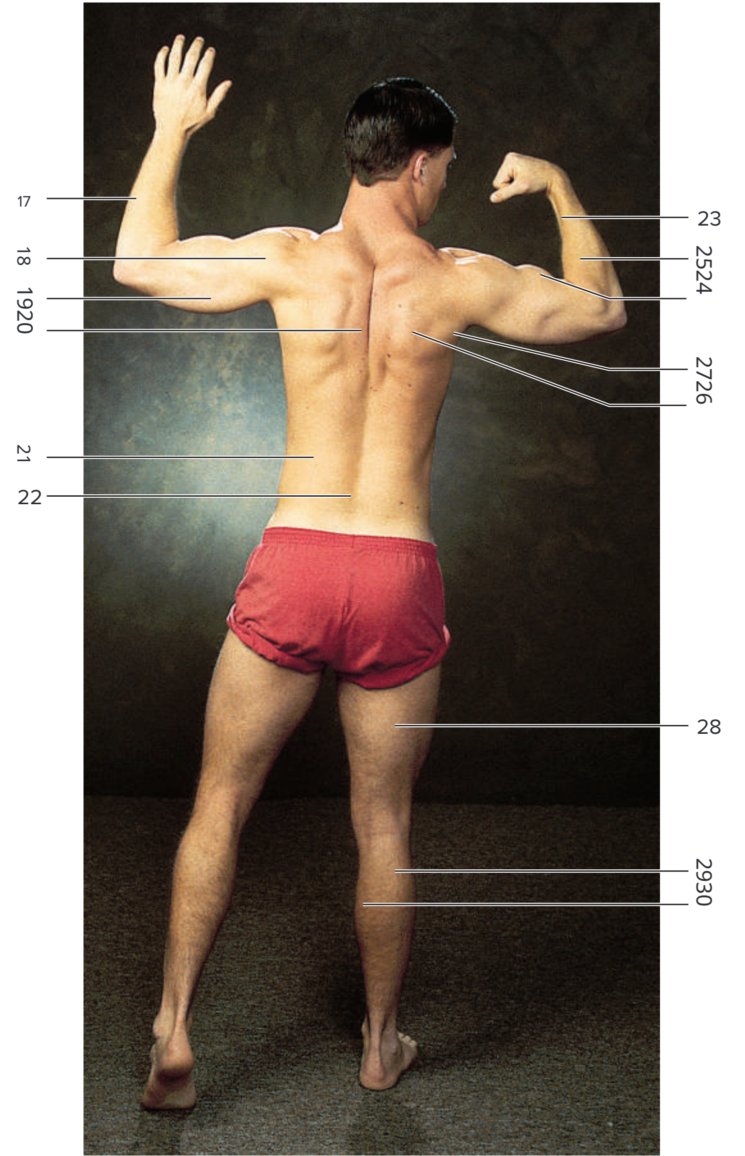
)ب(منظر وسطى

الشكل B.24 القدم)المنظر الجانبى والمنظر الإنسى(.)أ(منظر جانبى.)ب(منظر إنسى.
حدد موقع السلامية الوسطى الأولى فى كل صورة.

أ–ب: جو ديغرانديس/كين سالادين



أ(العرض الأمامى



ب(العرض الخلفى

الشكل B.25 اختبار التعرف على العضلات. لاختبار معرفتك بتشريح العضلات، قم بمطابقة العضلات الثلاثين الموسومة فى هذه الصور مع قائمة العضلات الأبجدية التالية. أجب عن أكبر عدد ممكن دون الرجوع إلى الرسوم التوضيحية السابقة. بعض هذه الأسماء ستُستخدم أكثر من مرة لأن نفس العضلة قد تُعرض من زوايا مختلفة، وبعض هذه الأسماء قد لا تُستخدم على الإطلاق. الإجابات موجودة فى الملحق أ.

أ–ب: جو ديغرانديس/كين سالادين

طوال هذه الرسوم التوضيحية، تنطبق الاختصارات التالية: a. = شريان؛ m. = عضلة؛ n. = عصب؛ v. = وريد. الحروف المزدوجة مثل mm. أو vv. تمثل الجمع.

س. العضلة القصية الترقوية الخشائية
ت. العضلة تحت الكتف
ع. العضلة المدورة الكبرى
ف. العضلة الظنبوبية الأمامية
العضلة شبه المنحرفة ص.
عضلة ثلاثية الرؤوس العضدية
y. عضلة الفخذ الوحشية
z. عضلة الفخذ الإنسية

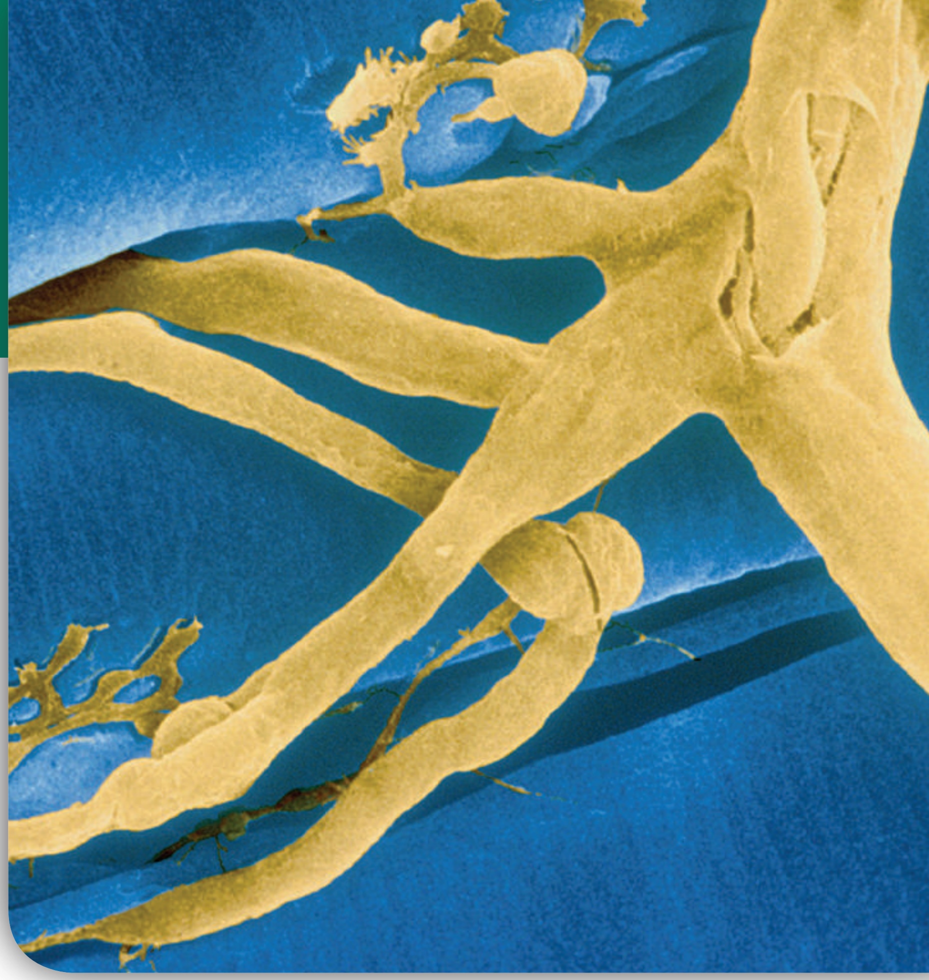
ى. العضلة تحت الشوكة
ك. العضلة الظهرية العريضة
ل. العضلة المشطية
م. العضلة الصدرية الكبرى
ن. المستقيم البطنى
ع. المستقيم الفخذى
ص. المنشار الأمامى
ق. السمانة
ر. العضلة المائلة للرأس

عضلة العضد ذات الرأسين)بيسبس براشيى(
عضلة العضد الكعبرية)براشيو رادياليس(
ح. الدالية
د. الناصبة للعمود الفقرى
هـ. العضلة المائلة الخارجية
و. العضلة المشية
ز. العضلة الساقية)السمانة(
ح. العضلة الرقيقة
ط. أوتار الركبة

ملخص هيكل ووظيفة العضلات الهيكلية نظرة عامة: يقدم هذا الفصل ... مع التركيز على هيكلها، وآليات الانقباض، والتمثيل ... الخلوية، والنسيجية. فهم هذه الجوانب

الفصل
11

عضلى
النسيج



المفاصل العصبية العضلية)SEM(. نهايات الأعصاب)باللون الأصفر(تتشابك مع ألياف ا لعضلات الهيكلية)باللون الأزرق(.
الدكتور دونالد فوسيت / Science Source

رؤى أعمق

11.1 التطبيق السريرى: السموم العصبية العضلية والشلل

11.2 التطبيق السريرى: تيبس ما بعد الوفاة)تيبس الجثة(

11.3 التاريخ الطبى: جالفانى، فولتا، و الكهرباء الحيوانية

11.4 التطبيق السريرى: الحثل العضلى

وضعف العضلات الوهن العضلى الوبيل

مخطط الفصل



التشريح و الفسيولوجيا المكشوفة 4.0

الوحدة ٦: الجهاز العضلى

11.1 أنواع وخصائص الأنسجة الع ضلية

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

a. وصف الخصائص الفسيولوجية التى تشترك فيها جميع أنوا ع العضلات؛

ب. سرد الخصائص المميزة للعضلة الهيكلية؛ و

ج. مناقشة الوظائف المرنة لمكونات النسيج الضام فى العضلة.

مراجعة

- يجب أن تكون على دراية بتنظيم العضلة الهيكلية النموذجية والأنسجة ال ضامة المرتبطة بها)انظر القسم 10.1 ب(.
- يجب أن تعرف الهيكل الأساسى للعصبون الذى تم تقديمه فى الح دول 5.10 لفهم العلاقة بين العصب والعضلة فى هذا الفصل.
- تحفيز ليف عضلى بواسطة عصبون يعتمد على مبادئ بروتينات غ شاء البلازما كمستقبلات وقنوات أيونية تعتمد على الرابط والجهد ا لكهربائى)انظر "بروتينات الغشاء" فى القسم 3.2 أ(.
- القسم 1.6 هـ، "التدرجات والتدفق"، يقدم مفهومًا أساسيًا)خاصة ا لتدرجات الكهروكيميائية(لفهم إثارة العضلة وتنشيط الانقباض.
- الاختلافات بين التنفس الهوائى والتخمر اللاهوائى)انظر الشكل 2.3 1(مركزية لفهم فسيولوجيا التمرين وعمليات الأيض الطاقى ف ى العضلة.
- الإلمام بالوصيلات اللاصقة)desmosomes(والوصلات الفجوية)gap junc tions( )انظر القسم 5.5a(سيعزز تقديرك للخصائص الأساس ية للعضلات القلبية والملساء.

الحركة هى خاصية أساسية لجميع الكائنات الحية، من البكتيريا إلى ا لإنسان. حتى النباتات والكائنات التى تبدو غير متحركة تنقل مكونا ت خلوية من مكان إلى آخر. عبر طيف الحياة بأكمله، تكون الآليات الجزيئية للحركة متشابهة جدًا، وتشمل بروتينات محركة مثل الميوسين والدينين. لكن فى الحيوانات، تطورت الحركة إلى أعلى درجة، مع تطور خلايا عضلية م تخصصة لهذه الوظيفة. الخلية العضلية هى فى الأساس جهاز لتحويل الطا قة الكيميائية لـ ATP إلى الطاقة الميكانيكية للحركة.

يتم وصف ومقارنة الأنواع الثلاثة من الأنسجة العضلية — الهيكلية، ال قلبية، والملساء — فى الجدول 5.11. يتم وصف العضلة القلبية والملساء بشكل أعمق فى هذا الفصل، ويتم مناقشة العضلة القلبية بشكل موسع فى الفصل 19. ومع ذلك، يركز معظم هذا الفصل على العضلة الهيكلية، ال نوع الذى يحافظ على الجسم منتصبًا ضد قوة الجاذبية وينتج حركاته الظاهر ة إلى الخارج.

يتناول هذا الفصل بنية العضلة الهيكلية، وانقباضها، وأيضها على الم ستويات الجزيئية، الخلوية، والنسيجية للتنظيم. فهم العضلة على هذه الم ستويات يوفر أساسًا لا غنى عنه لفهم جوانب الأداء الحركى مثل السرعة، ا لقوة، التحمل، والإرهاق. هذه العوامل لها صلة واضحة بالأداء الرياضى، وت صبح مهمة جدًا عندما يتداخل نقص اللياقة البدنية، التقدم فى السن، أو الإ صابة مع قدرة الشخص على أداء المهام اليومية أو تلبية المطالب الإضافية للسرعة أو القوة التى نواجهها جميعًا أحيانًا.

11.1أ الخصائص العامة للعضلة

تم تفصيل وظائف الجهاز العضلى فى الفصل السابق: الحركة، الثبات ، التواصل، التحكم فى فتحات وممرات الجسم، إنتاج الحرارة، والتحك م فى مستوى السكر فى الدم.
لأداء هذه الوظائف، تمتلك جميع خلايا العضلات الخصائص التالية.

- الاستثارية)الاستجابة(. الاستثارية هى خاصية لجميع الخلايا الحية، لكن خلايا العضلات والأعصاب طورت هذه الخاصية إ لى أعلى درجة. عند تحفيزها بإشارات كيميائية، أو التمدد، أو م حفزات أخرى، تستجيب خلايا العضلات بتغيرات كهربائية عبر غشاء البلازما.
- التوصيل. تحفيز خلية عضلية ينتج أكثر من تأثير محلى. يطلق التحفيز الكهربائى المحلى موجة من الإثارة تنتقل بسرعة على طو ل الخلية وتبدأ العمليات التى تؤدى إلى الانقباض.
- الانقباضية. خلايا العضلات فريدة فى قدرتها على الانكماش بشكل كبير عند تحفيزها. هذا يمكنها من سحب العظام والأع ضاء الأخرى لإحداث الحركة.
- التمدد. لكى تنقبض خلية العضلة، يجب أن تكون أيضًا قابلة للتمدد — قادرة على التمدد مرة أخرى بين الانقباضات. معظم الخلايا تتمزق إذا تم تمديدها حتى قليلاً، لكن خلايا العضلا ت الهيكلية يمكن أن تتمدد حتى ثلاثة أضعاف طولها المنقبض .
- المرونة. عندما يتم تمديد خلية عضلية ثم تُترك، تعود إ لى طول أقصر. لو لم يكن هناك هذا الارتداد المرن، لكانت الع ضلات فى حالة راحة مرتخية جدًا أو مترهلة. بسبب علاقة *الطول–التوتر* التى سيتم وصفها فى هذا الفصل، فإنها لن تنقبض بقوة كبيرة عند التحفيز.

11.1ب العضلة الهيكلية

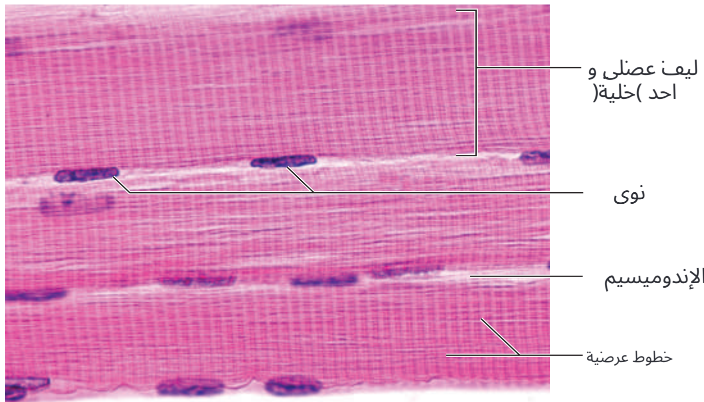
العضلة الهيكلية هى عضلة مخططة إرادية عادةً ما تكون متصلة بعظم واحد أو أكثر. تُظهر خلية العضلة الهيكلية شرائط عرضية متناوبة فاتحة وداكنة، أو خطوط مخططة (الشكل 11.1)، التى تعكس ترتيبًا متداخلًا لبروتيناتها التقلصية الداخلية. تُسمى العضلة الهيكلية إرادية لأنها عادةً ما تخضع للتحكم الواعى. أما أنواع العضلات الأخرى فهى لاإرادية (لا تخضع عادةً للتحكم الواعى)، ولا ترتبط أبدًا بالعظام.

خلية عضلية هيكلية نموذجية يبلغ قطرها حوالى 100 ميكرومتر وطولها 3 سم (30,000 ميكرومتر)؛ وبعضها يصل سمكه إلى 500 ميكرومتر وطوله إلى 30 سم، مثل عضلة السارتوريوس التى تعبر الفخذ من الورك إلى الركبة. وبسبب طولها الاستثنائى، تُسمى خلايا العضلات الهيكلية عادةً ألياف عضلية أو ألياف عضلية مخططة (مايوفيبرز).

تتكون العضلة الهيكلية ليس فقط من نسيج عضلى، بل أيضًا من نسيج ضام ليفى: *الإندوميسيوم* الذى يحيط بكل ليفة عضلية، و*البيريميسيوم* الذى يجمع الألياف العضلية معًا فى حزم، و*الإبى ميسيوم* الذى يغلف العضلة بأكملها (انظر الشكل 10.1). هذه الأنسجة الضامة متصلة بألياف الكولاجين للأوتار، وهذه بدورها متصلة بكولاجين مصفوفة العظم. لذلك، عندما تنقبض ليفة عضلية، فإنها تسحب على هذه الألياف الكولاجينية وعادةً ما تحرك عظمًا.

الكولاجين ليس مثيرًا ولا قابلًا للانقباض، لكنه يمتاز ببعض القابلية للتمدد والمرونة. عندما تطول العضلة، على سبيل المثال أثناء تمديد المفصل، تقاوم مكوناتها الكولاجينية التمدد المفرط وتحمى العضلة من الإصابة.

عندما تسترخى العضلة، قد يساعد الارتداد المرن للكولاجين فى إعادة العضلة إلى طولها الطبيعى ومنعها من أن تصبح مترهلة جدًا. يرى بعض الخبراء أن ارتداد الأوتار والأنسجة الكولاجينية الأخرى يساهم بشكل كبير فى إنتاج القوة وكفاءة العضلة. على سبيل المثال، عند الجرى، قد يساعد ارتداد وتر العرقوب فى رفع الكعب وتوليد جزء من الدفع عندما تدفع أصابع القدم الأرض. (يساهم هذا الارتداد بشكل كبير فى القفزات الطويلة والفعالة للكنغر.) بينما يرى آخرون أن مرونة هذه المكونات ضئيلة فى البشر وأن الارتداد ينتج بالكامل عن بعض البروتينات داخل خلايا الألياف العضلية نفسها.



APR الشكل 11.1 ألياف العضلات الهيكلية.

ما هى خصائص النسيج الظاهرة فى هذه الصورة التى تميزها عن عضلة القلب والعضلة الملساء؟

خوسيه لويس كالفو / Shutterstock

...ل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

1. عرّف الاستجابة، التوصيل، الانقباض، القابلية للتمدد، والمرونة. اذكر سبب ضرورة كل من هذه الخصائص لوظيفة العضلة.
2. كيف تختلف العضلة الهيكلية عن أنواع العضلات الأخرى؟

11.2 خلايا العضلة الهيكلية

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

a. وصف المكونات الهيكلية لليف العضلى؛
ب. تسمية البروتينات الرئيسية فى الليف العضلى وذكر وظيفة كل منها؛ و
ج. ربط الخطوط العرضية فى الليف العضلى بترتيب تداخل خيوط البروتين الخاصة به.

11.2أ ليف العضلة

لفهم وظيفة العضلة، يجب أن تعرف كيف يتم ترتيب العضيات والجزيئات الكبيرة فى الليف العضلى.

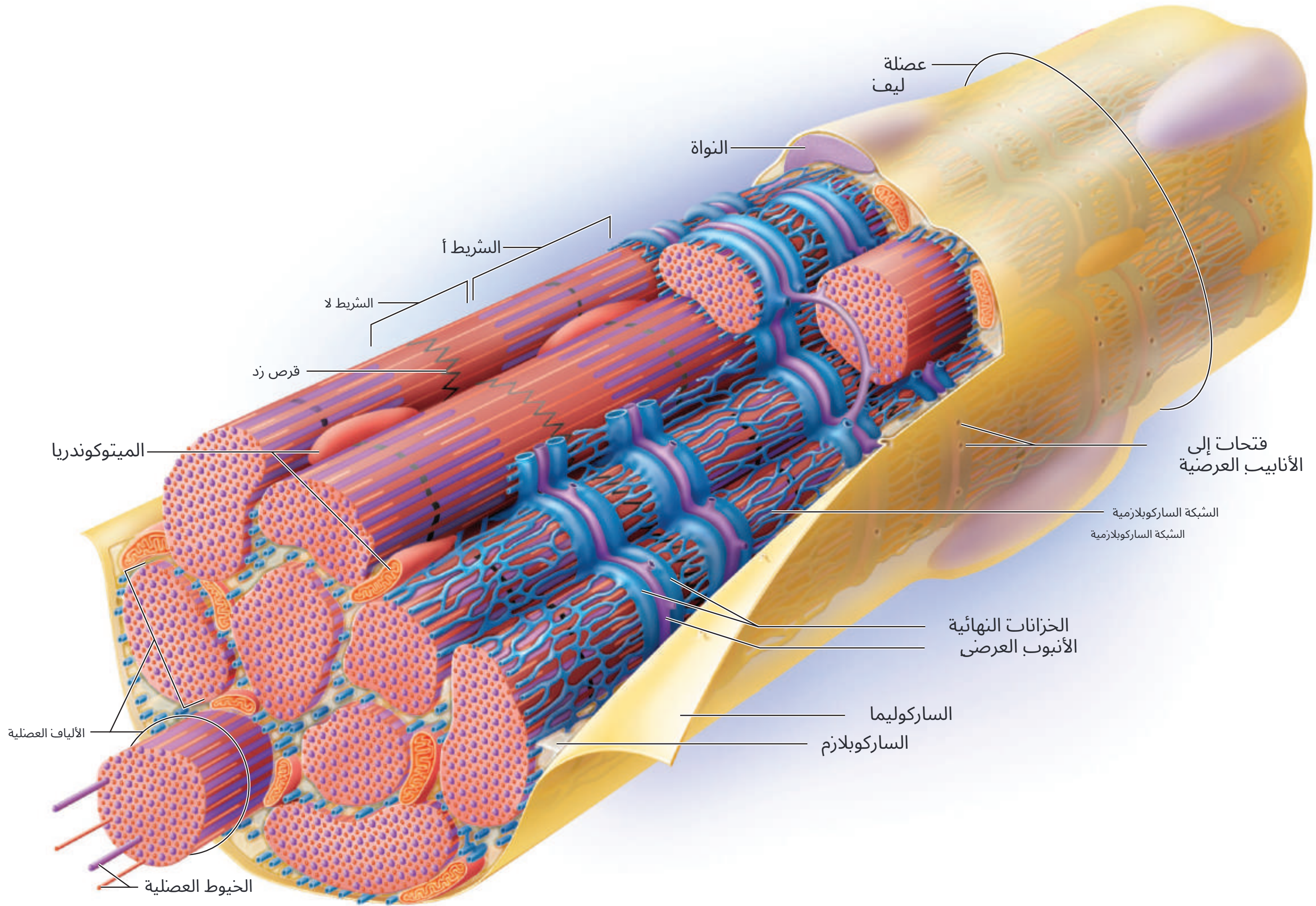
ربما أكثر من أى خلية أخرى، يجسد الليف العضلى المثل القائل، *الشكل يتبع الوظيفة*. لديه بنية داخلية معقدة ومنظمة بإحكام حيث يرتبط حتى الترتيب المكانى لجزيئات البروتين ارتباطًا وثيقًا بوظيفته الانقباضية.

الغشاء البلازمى لليف العضلى يُسمى الساركوليما, sarco-lemma[1] وسيتوبلازمه يُسمى الساركوبلازم **sarcoplasm.** يشغل الساركوبلازم بشكل رئيسى حبال بروتينية طويلة تُسمى الميوفيبريلز myofibrils بقطر حوالى 1 ميكرومتر (الشكل 11.2)، والتى تمتد على طول الخلية بأكملها. كما يحتوى أيضًا على كمية كبيرة من الجليكوجين glycogen، وهو كربوهيدرات شبيهة بالنشا توفر الطاقة للخلية أثناء مستويات مكثفة من التمرين، وصبغة حمراء مرتبطة بالأكسجين تُسمى الميوجلوبين myoglobin، والتى توفر جزءًا من الأكسجين اللازم للنشاط العضلى.

معظم عضيات الخلية، مثل الميتوكوندريا، تكون محشوة فى الفراغات بين الميوفيبريل. الشبكة الإندوبلازمية الملساء، التى تُسمى هنا الشبكة الساركوبلازمية (SR)، تُشكل شبكة حول كل ميوفيبريل مثل جوارب شبكية حول الساق (الشبكة الزرقاء فى الشكل 11.2). عند فواصل منتظمة، تحتوى على أكياس نهائية متوسعة تُسمى الأكياس النهائية الطرفية، والتى تعبر ليف العضلة من جانب إلى آخر. الساركوليما تحتوى على طيات أنبوبية تُسمى الأنابيب العرضية (T tubules)، التى تخترق الخلية وتظهر على الجانب الآخر. كل أنبوب T مرتبط ارتباطًا وثيقًا مع كيسين نهائيين طرفيين يمران بجانبه، واحد على كل جانب.

ألياف العضلات تحتوى على العديد من النوى على شكل سجق مضغوطة ضد داخل الساركوليما. ألياف عضلات الثدييات تحتوى على 30 إلى 80 نواة لكل مليمتر، لذا قد تحتوى الليفة النموذجية بطول 3 سم على 900 إلى 2400 نواة؛ والأطول منها، كما فى عضلة السارتوريوس، قد تحتوى على أكثر من 20,000 نواة! ألياف العضلات لا يمكنها الخضوع للانقسام الخلوى (ميتوز)، ومن السهل فى هذا السياق فهم السبب: سيكون من المستحيل تنسيق النشاط الانقسامى لكل هذه النوى.

[1] *سارگو* = لحم، عضلة؛ *ليما* = قشرة



الشكل 11.2 هيكل ليفة عضلية هيكلية. هذه خلية واحدة تحتوى على 11 ليفة عضلية دقيقة)9 تظهر فى الطرف الأيسر و2 مقطوعتان فى منتصف الليفة(. تظهر بعض الخيوط العضلية الدقيقة بارزة من الليفة العضلية الدقيقة فى اليسار. تحتوى معظم ألياف العضلات على عدة عشرات إلى ألف أو أكثر من الألياف العضلية الدق يقة. يُظهر الشكل 11.3 الهيكل الدقيق للألياف العضلية الدقيقة.

بعد قراءة المزيد فى هذا الفصل، اشرح لماذا من المهم أن يكون الأنبوب العرضى مرتبطًا ارتباطًا وثيقًا بالخزانات الطرفية.

الألياف العضلية الدقيقة. تمتلك الميتوكوندريا القريبة من الساركوليما الشكل الم عتاد للفاصوليا كما هو الحال فى العديد من الخلايا الأخرى، ولكن عميقًا داخل لى فة العضلة، تشكل شبكة أنبوبية أكثر ديناميكية ومتغيرة باستمرار تتأثر بالتمارين ا لرياضية. كما أن انقباض العضلة يتطلب الكثير من أيونات الكالسيوم)Ca^{2+}(، كما سترى، لكن هذا يطرح مشكلة. تركيز عالٍ من Ca^{2+} فى السيتوسول يكون سامًا— يمكن أن يتفاعل مع أيونات الفوسفات ليترسب على شكل بلورات فوسفات الكا لسيوم، ويمكن أن يحفز موت الخلية عن طريق الاستماتة)الأبوبتوسيس(. لذلك، فى حالة الراحة، تخزن خلية العضلة Ca^{2+} فى الشبكة الساركوبلازمية، مرتبطة بأما ن ببروتين يُسمى كالسكيسكرين.[3] فى ليفة عضلية فى حالة الراحة، يكون تركيز Ca^{2+} فى الشبكة الساركوبلازمية أعلى بحوالى 10,000 مرة منه فى السيتوسول. عند تحفيز الخلية، تفتح بوابات الأيونات فى غشاء الشبكة الساركوبلازمية ويتدفق Ca^{2+} إلى السيتوسول لتنشيط الانقباض. يشير الأنبوب T إلى الشبكة الساركوبلازمية متى تطلق هذه الطفرات من الكالسيوم.

11.2ب الألياف البروتينية الدقيقة

لنعد إلى الألياف العضلية الدقيقة التى ذُكرت للتو—الحبال البروتينية الطويلة التى تملأ معظم خلية العضلة—وننظر إلى هيكلها

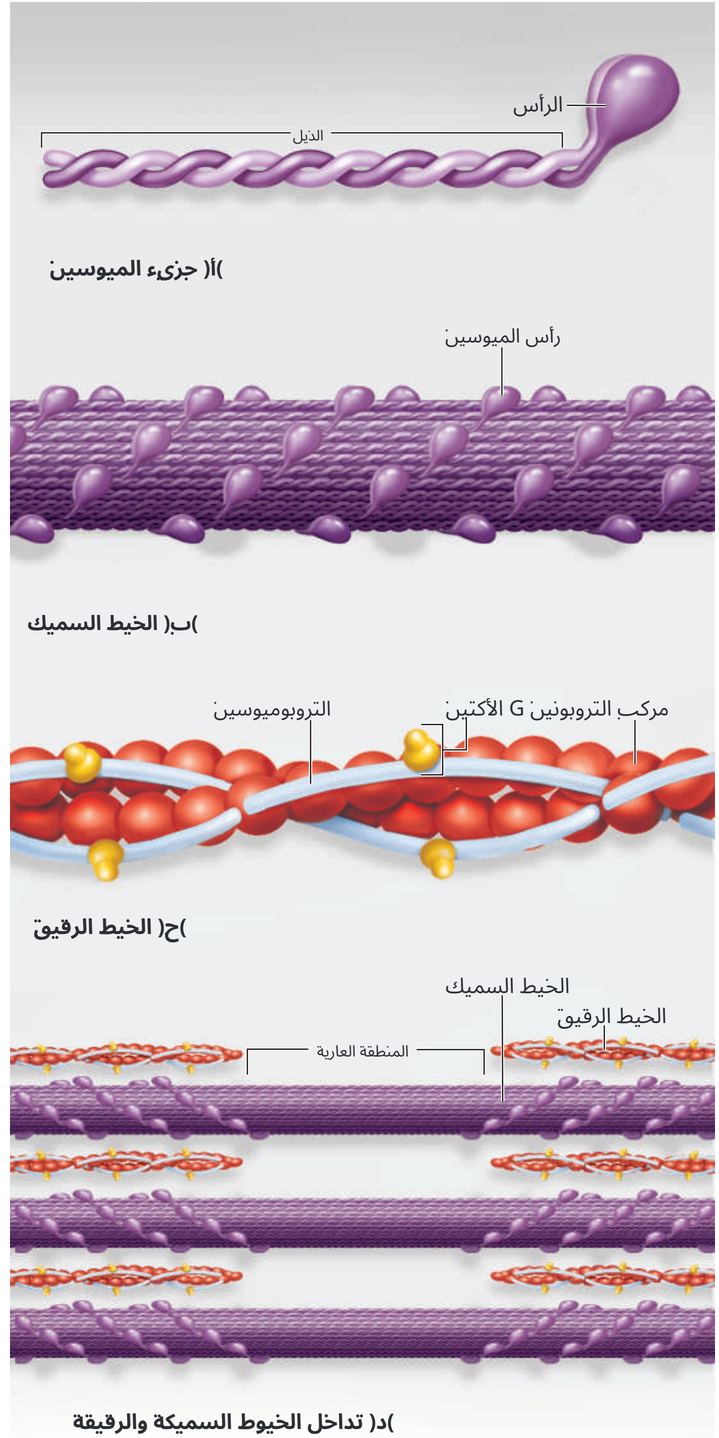
تعد هذه النوى العديدة ضرورية لإصلاح إصابات ألياف العضلات الطفيفة التى تحدث بشكل روتينى بسبب التمارين الرياضية. خلال بضع ساعات من الإصابة، تقوم البروتينات الحركية)داينين(بنقل النو ى على طول الأنابيب الدقيقة إلى مواقع الضرر، حيث تتجمع النوى. م ن خلال النسخ الجينى والترجمة، تُصنع بروتينات جديدة لإصلاح الضرر . يكون الإصلاح سريعًا وفعالًا بشكل ملحوظ، حيث يكتمل تقريبًا خلال 24 ساعة.

تنشأ الحالة غير العادية لتعدد النوى فى ألياف العضلات الهيكلية من تطورها الجنينى. تندمج عدة خلايا جذعية تُسمى الخلايا العضلية ا لأولية)الميوبلاستات([2] لتكوين كل ليفة، حيث تساهم كل ميوبلاست بنواة واحدة. تبقى بعض الميوبلاستات كخلايا جذعية بالغة تُسمى الخ لايا القمرية بين الليفة العضلية والغشاء الداخلى للعضلة)الإندوميسى م(. تلعب هذه الخلايا دورًا هامًا فى نمو العضلات وفى إصلاح إصابات الألياف على نطاق أوسع.

تحتاج العضلة إلى كمية كبيرة من ATP ولذلك تحتوى على عدد ا ستثنائى من الميتوكوندريا المحشورة بين

[2] عضلى = muscle; جنينى = precursor

[3] كالسيوم = calcium; احتجاز = to set apart or separate; فى = protein



الشكل 11.3 التركيب الجزيئى للخيوط السميكة والرقيقة.)أ(جزىء ميوسين واحد مكون من بروتينين متشابكين.)ب(خيط سميك مكون من حزمة من جزيئات الميوسين.)ح(خيط رقيق مكون من الأكتين، التروبوميوسين، والتروبونين.)د(منطقة تداخل بين الخيوط السميكة والرقيقة.

على مستوى أدق، جزيئى. هنا يكمن مفتاح انقباض العضلة. كل ميوفيبريل هو حزمة من البروتينات المتوازية تسمى خيوط العضلات أو الخيوط البروتينية)انظر الطرف الأيسر من الشكل 11.2(. هناك ثلاثة أنواع من الخيوط البروتينية:

1. الخيوط السميكة)الشكل 11.3أ، ب(قطرها حوالى 15 نانوم
تر. كل خيط يتكون من عدة مئات من جزيئات بروتين محرك
يسمى الميوسين. جزىء الميوسين يشبه عصا الغولف، حيث
تتشابك سلسلتان لتشكلا ذيلًا يشبه العمود ورأسًا مزدوجًا كروى
الشكل يبرز منه بزاوية.
يتكون الخيط السميك من حزمة تضم من 200 إلى 500 جزى
ء ميوسين مع توجيه رؤوسها إلى الخارج فى ترتيب حلزونى
حول الحزمة. تميل رؤوس نصف الخيط السميك إلى اليسار،
وتميل رؤوس النصف الآخر إلى اليمين؛ وفى الوسط توجد م
نطقة عارية بدون رؤوس.

2. الخيوط الرقيقة)الشكل 11.3ح، د(، قطرها 7 نانومتر، تتكون أ
ساسًا من خيطين متشابكين من بروتين يسمى الأكتين الليفى)
F(. كل أكتين F يشبه عقدة خرز - سلسلة من ال
وحدات الفرعية تسمى الأكتين الكروى)G(. لكل أكتين G مو
قع نشط يمكنه الارتباط برأس جزىء الميوسين. يحتوى ال
خيط الرقيق أيضًا على 40 إلى 60 جزىء من بروتين آخر ي
سمى التروبوميوسين. عندما يكون ليف العضلة مسترخيًا، ى
حجب كل تروبوميوسين المواقع النشطة لستة أو سبعة أكتي
نات G ويمنع الميوسين من الارتباط بها.
يرتبط بكل جزىء تروبوميوسين بروتين صغير ثنائى الجزء لربط
الكالسيوم يسمى التروبونين.

3. الخيوط المرنة)انظر الأشكال 11.4، 11.5ب(، قطرها 1 نانو
متر، مصنوعة من بروتين ضخم ومرن يسمى التيتين. تمر هذه
الخيوط عبر مركز كل خيط سميك وتربطه بهياكل تسمى قر
ص Z فى أحد الطرفين وخط M فى الطرف الآخر. يعمل الت
تين على تثبيت الخيط السميك، وتمركزه بين الخيوط الرقيقة،
ويمنع التمدد المفرط، ويعود إلى شكله الأصلى مثل نابض بعد
تمدد العضلة.

يُطلق على الميوسين والأكتين اسم البروتينات القابضة لأنها تقو م بعمل تقصير ليف العضلة. أما التروبوميوسين والتروبونين فيُطلق ع ليهما البروتينات التنظيمية لأنهما يعملان معًا كمفتاح لتحديد متى يم كن لليف الانقباض ومتى لا يمكنه ذلك. قد تكون بعض الأدلة على ك يفية قيامهما بذلك واضحة مما قيل سابقًا — يتم إطلاق أيونات الكال سيوم فى الساركوبلازم لتنشيط الانقباض؛ يرتبط الكالسيوم بالتروبونى ن؛ يرتبط التروبونين أيضًا بالتروبوميوسين؛ ويمنع التروبوميوسين الم واقع النشطة للأكتين، بحيث لا يمكن للميوسين الارتباط بها عندما لا تكون العضلة محفزة. ربما تكون قد بدأت فى تكوين فكرة عن آلية الان قباض التى سيتم شرحها قريبًا.

يوجد على الأقل سبعة بروتينات مساعدة أخرى فى الخيوط السم يكة والرقيقة أو مرتبطة بها. من بين وظائفها الأخرى، تثبيت الميوفيلم نتات، تنظيم طولها، والحفاظ على محاذاتها مع بعضها البعض لتحقي ق فعالية انقباضية مثلى. أهمها من الناحية السريرية هو الديستروفين ، وهو بروتين ضخم يقع بين الساركوليما وأبعد الميوفيلمنتات الخارج ية. يربط خيوط الأكتين ببروتين محيطى على الوجه الداخلى للساركولي ما. ومن خلال سلسلة من البروتينات الرابط)الشكل 11.4(، يؤدى ذل ك فى النهاية إلى الإندوميسيم الليفى المحيط بليف العضلة. لذلك، ع ندما تكون الخيوط الرقيقة

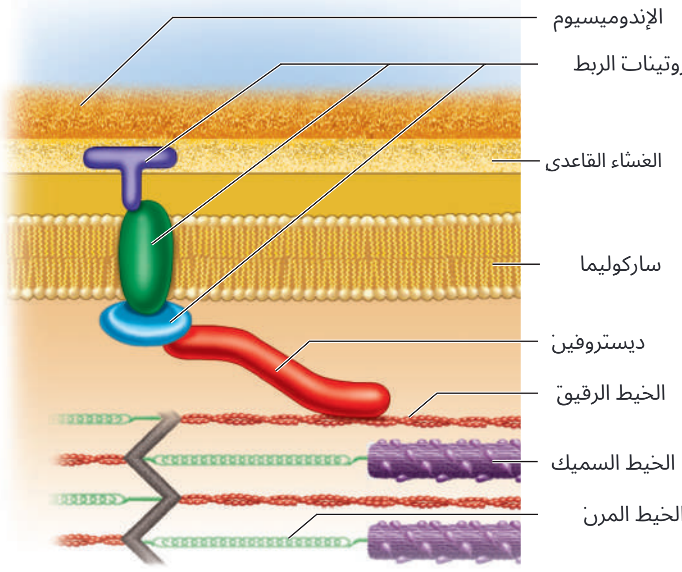
عند الحركة، ينقل الديستروفين القوة إلى الغشاء القاعدى، الإندو-مى سيم، وفى النهاية إلى الوتر. العيوب الجينية فى الديستروفين هى الم سؤولة عن المرض المعطل الحثل العضلى)انظر التعمق 11.4(.

[4]تيت = عملاق؛ إن = بروتين

11.2ح الخطوط والعُصَيّات

الميوسين والأكتين ليسا فريدين للعضلات فقط؛ فهما موجودان فى جميع الخلايا تقريبًا، حيث يقومان بوظائف فى حركة الخلية، والانقسام الخلوى، ونقل المواد داخل الخلية. ومع ذلك، فإنهما فى العضلات الهيكلية والقلبية موجودان بكثرة ومنظمان فى ترتيب دقيق يفسر الخطوط العرضية لهذه الأنواع من العضلات)الشكل 11.5، 11.3د(.

العضلات المخططة تحتوى على أشرطة داكنة A تتناوب مع أشر طة أخف I.(A تعنى غير متماثل و I تعنى متماثل وتشير إلى طريقة تأثير هذه الأشرطة على الضوء المستقطب. لتسهيل التذكر، فكر فى d"rkA" و "Il ght".(كل شريط A يتكون من خيوط سميكة متراصة جنبًا إلى جنب. جزء من شريط A، حيث تتداخل الخيوط السم يكة والرقيقة، يكون داكنًا بشكل خاص. فى هذه المنطقة، كل خيط سميك محاط بمصفوفة سداسية من الخيوط الرقيقة)الشكل 11.5ح(. فى وسط شريط A، هناك منطقة أخف تسمى **H band**,[5] لا تصل إل يها الخيوط الرقيقة. فى وسط شريط H، ترتبط الخيوط السميكة بب ضها البعض من خلال مركب بروتينى عرضى داكن يسمى **M line**.[6] أ ما أشرطة I فتحتوى على الخيوط الرقيقة المرتبة سداسيًا، ولكن لا تحتوى على خيوط سميكة)الشكل 11.5د(. كل شريط I الفاتح مقسم إلى نصفين بواسطة قرص **Z disc**)[7]خط Z(، الذى يوفر تثبى تًا للخيوط الرقيقة و



الشكل 11.4 ديستروفين. ديستروفين ينقل فى النهاية قوة حركة خيوط الأكتين إلى الأنسجة المؤدية إلى وتر العضلة.

[5] H = هيله = ساطع)ألمانى(
[6] M = ميتل = وسط)ألمانى(
[7] Z = تسفيشينشيب = القرص الوسيط)ألمانى(

النواة
الساركومير
قرص زد
خط M
شريط H
الشريط لا
الشريط أ
الشريط لا
الألياف العضلية الفردية
1 2 3 4
)أ(
سميك خيط
رقيق خيط
)ح(مقطع عرضى لشريط A
رقيق خيط
)د(مقطع عرضى لشريط I

الساركومير
الشريط لا
الشريط أ
الشريط لا
شريط H
خيط سميك
خيط رقيق
خط M
قرص زد
خيط مرن
قرص زد
)ب(

الشكل 11.5 خطوط العضلات وأساسها الجزيئى.)أ(خمسة ألياف عضلية من ليف عضلى واحد، تظهر الخطوط فى الحالة المسترخية)المجهر الإلكترونى النافذ(.)ب(نمط التداخل بين الخيوط السميكة والرقيقة الذى يفسر الخطوط المرئية فى الجزء)أ(.)ح(مقطع عرضى لشريط A يُظهر الخيوط السميكة المحاطة بمصفوفات سداسية من الخيوط الرقيقة.)د(مقطع عرضى لشريط I، الذى يحتوى على خيوط رقيقة فقط. APR

أ: دون و. فوسيت/مصدر العلوم

الجدول 11.1 التسلسل الهيكلى للعضلة الهيكلية

المستوى الهيكلى	الوصف
عضلة وتر عضلة ألياف عضلية حزم عضلية الإبيميسيم النسيج المحيط	عضو قابل للانقباض، عادة ما يكون متصلاً بالعظام عبر الأوتار. يتكون من حزم)حزم عضلية(من خلايا طويلة ومتوازية ومضغوطة بإحكام) ألياف عضلية(. مزود بالأعصاب والأوعية الدموية ومحاط بغشاء أبيميسيوم ليفى يفصله عن العضلات المجاورة.
الحزمة العضلية ألياف العضلات النسيج المحيط	حزمة من الألياف العضلية داخل العضلة. مزودة بالأعصاب والأوعية الدموية ومحاطة بغشاء بيريميسيوم ليفى يفصلها عن الحزم المجاورة.
ليف عضلى قرص زد ساركوليما الميوبريلات الخيوط العضلية	خلية عضلية واحدة. نحيفة، طويلة، تشبه الخيط، محاطة بغشاء بلازمى م تخصص)الساركوليما(. تحتوى على حزم مكتظة)الميوفيبريل(من خيوط ا لبروتين القابلة للانقباض، ونوى متعددة تقع مباشرة تحت الساركوليما، وشبكة واسعة من الشبكة الإندوبلازمية الملساء المتخصصة)الشبكة الساركوبلازمية(. محاطة بغلاف ليفى رقيق يسمى الإندوميسيم.
ميوفيبريل الأنبوب T قرص زد الخيوط العضلية: الخيوط العضلية السميكة الرقيقة الشبكة الساركوبلازمية الشبكة الساركوبلازمية	حزمة من خيوط البروتين داخل ليف عضلى؛ تملأ الميوفيبريل معظم السى توبلازم بشكل جماعى. كل واحدة محاطة بالشبكة الساركوبلازمية والمى توكوندريا. لها مظهر مخطط)مخطط عرضيًا(بسبب التداخل المنتظم لخ يوط البروتين.
الساركومير الساركومير الخيط العضلى السميك الخيط العضلى الرقيق قرص زد قرص زد	مقطع من الميوفيبريل من قرص Z واحد إلى القرص التالى فى نمط الخطو ط فى الليف. مئات من الساركوميرات متصلة من النهاية إلى النهاية تشكل ا لميوفيبريل. الوحدة الوظيفية والقابلة للانقباض فى الليف العضلى.
الخيوط العضلية سميك الخيط العضلى رقيق الخيط العضلى	خيوط بروتينية ليفية تقوم بعملية الانقباض. تشمل خيوطًا سميكة تتكون أساسًا من الميوسين، وخيوطًا رفيعة تتكون أسا سًا من الأكتين، وخيوطًا مرنة تتكون من التيتين. تنزلق الخيوط السميكة والرف يعة فوق بعضها البعض لتقصير كل ساركومير. تقصير الساركوميرات المتصلة من النهاية إلى النهاية يقصر العضلة بأكملها.

الخيوط المرنة. يُطلق على كل جزء من الميوفيبريل من قرص Z واحد إلى القر
ص التالى اسم الساركومير[8])SAR-co-meer(، وهو الوحدة التقلصية ال
وظيفية لليف العضلى. يمكنك أن ترى فى الشكل 11.1 أن الليف العضلى يتكو
ن من العديد من الساركوميرات المتصلة من النهاية إلى النهاية. يبلغ طول السا
ركوميرات حوالى 2.5 ± 1 ميكرومتر، لذا فإن ليف عضلى متوسط طوله 3 سم
يحتوى على حوالى 12,000 ساركومير، متصلين من النهاية إلى النهاية. تقصر ا
لعضلة لأن الساركوميرات الفردية تتقصر وتسحب أقراص Z أقرب إلى بعضها ا
لبعض، كما أن الديستروفين والبروتينات الرابطه تسحب على البروتينات خارج
الخلية فى العضلة. وعندما تُسحب أقراص Z أقرب إلى بعضها، فإنها تسحب ع
لى الساركوليما لتحقيق تقصير شامل للخلية.

الجدول 11.1 يستعرض تنظيم العضلة الهيكلية على المستويات الهيك
لية المتعاقبة من العضلة الكاملة إلى الخيوط العضلية)myofilaments(.

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

3. ما هى المصطلحات الخاصة التى تُطلق على غشاء البلازما، السيتوبلازم، والشبكة الإندوبلازمية الملساء فى خلية العضلة؟
4. ما الفرق بين الخيط العضلى)myofilament(والليف العضلى)myofibril(؟
5. اذكر خمسة بروتينات من الخيوط العضلية وصف ترتيبها الفيزيائى.
6. ارسم نمط التداخل بين الخيوط العضلية لتوضح كيف تشكل الأشرطة A، والأشرطة I، والأشرطة H، والأقراص Z.

العلاقة بين العصب والعضلة 11.3

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

a. شرح ما هى الوحدة الحركية وكيف ترتبط بانقباض العضلة؛

ب. وصف هيكل الوصلة حيث يلتقى ليف عصبى)محور عصبى(مع ليف عضلى؛ و

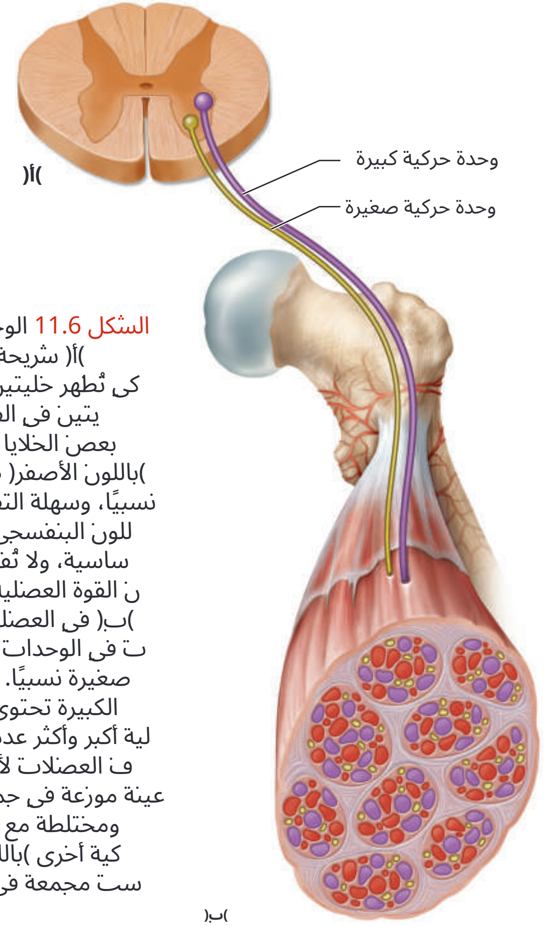
ج. شرح سبب وجود فرق شحنة كهربائية عبر غشاء البلازما للخ
لية وبشكل عام كيف يرتبط ذلك بانقباض العضلة.

لا يمكن للعضلة الهيكلية أن تنقبض إلا إذا تم تحفيزها بواسطة عصب
)أو باستخدام أقطاب كهربائية(. إذا تم قطع أو تسميم اتصالاتها العص
بية، تصبح العضلة مشلولة. وإذا لم يتم استعادة الاتصال، فإن العضلة
المشلولة تضعف وتضمحل فى حالة تسمى ضمور فقدان التعصيب.
لذلك، لا يمكن فهم انقباض العضلة دون فهم العلاقة بين الخلايا الع
صبية وخلايا العضلات أولاً.

11.3أ الخلايا العصبية الحركية والوحدات الحركية

تخدم العضلات الهيكلية خلايا عصبية تسمى الخلايا العصبية الحركية ا
لجسدية، وتقع أجسام خلاياها فى جذع الدماغ والحبل الشوكى.
محاورها العصبية، التى تسمى ألياف الحركة الجسدية، تتجه نحو العضلات.
يتفرع كل ليف عصبى إلى عدة ألياف عضلية، لكن كل ليف عضلى يغ
ذى بواسطة عصبون حركى واحد فقط.

عندما يقترب إشارة عصبية من نهاية المحور العصبى، تنتشر ع
بر جميع فروعه الطرفية وتحفز جميع الألياف العضلية التى تغذيها.



الشكل 11.6 الوحدات الحركية.
)أ(شريحة من الحبل الشو
كى تُظهر خليتين عصبيتين حرك
يتين فى القرن الأمامى له.
بعض الخلايا العصبية الحركية
)باللون الأصفر(صغيرة، حساسة
نسبيًا، وسهلة التفعيل. وأخرى)با
للون البنفسجى(كبيرة، أقل ح
ساسية، ولا تُفعّل إلا عندما تكو
ن القوة العضلية الأكبر مطلوبة.
)ب(فى العضلة، ألياف العضلا
ت فى الوحدات الحركية الصغيرة
صغيرة نسبيًا. الوحدات الحركية
الكبيرة تحتوى على ألياف عص
لية أكبر وأكثر عددًا. لاحظ أن أليا
ف العضلات لأى وحدة حركية م
عينة موزعة فى جميع أنحاء العضلة
ومختلطة مع ألياف وحدات حر
كية أخرى)باللون الأحمر(، ولي
ست مجمعة فى مكان واحد.

وبالتالى، تنقبض هذه الألياف العضلية بشكل متزامن؛ لا يمكن تحفيز
بعضها دون الباقى. وبما أنها تتصرف كوحدة وظيفية واحدة، فإن لى
فًا عصبيًا واحدًا وجميع الألياف العضلية التى يعصبها يُطلق عليهم ا
سم الوحدة الحركية)الشكل 11.6(.

عادةً ما يغذى عصبون حركى واحد ٢٠٠ أو أكثر من ألياف العضلات ال
موزعة عبر ما يصل إلى ١٠٠ حزمة عضلية. لذلك، عند التحفيز، لا تت
سبب هذه الألياف العضلية فى ارتعاش موضعى فى حزمة واحدة فق
ط، بل فى انقباض على مساحة أوسع. يتطلب الانقباض العضلى الفع
ال عادةً تنشيط العديد من الوحدات الحركية فى آن واحد.

يمكن أن تكون الوحدات الحركية أصغر أو أكبر بكثير من 200 لي
ف عضلى لتلبية أغراض مختلفة. حيثما تكون السيطرة الدقيقة مطلو
بة، لدينا وحدات حركية صغيرة. عادةً ما تزودها خلايا عصبية صغيرة و
حساسة نسبيًا، تعصب ألياف عضلية صغيرة نسبيًا. حيث تكون القوة
أهم من السيطرة الدقيقة، لدينا *وحدات حركية كبيرة*.
تُعصب هذه بواسطة خلايا عصبية أقل حساسية ذات أجسام خلوية أ
كبر، ومحاور عصبية أكثر سمكًا، وألياف عضلية أكثر سمكًا وعددًا. تُفعّ
ل هذه الوحدات الحركية عندما تكون القوة مطلوبة لمهمة شاقة.
فكر فى عضلة يد أو عين تتطلب تحكمًا حركيًا دقيقًا. هنا، قد تع
صب 1000 ليف عضلى بواسطة 200 إلى 300 خلية عصبية حركية م
ع وحدات حركية صغيرة تحتوى فقط على 3 إلى 5 ألياف عضلية لكل
منها. تشغيل أو إيقاف عدد قليل من الوحدات الحركية ينتج تغييرات
صغيرة ودقيقة فى حركة العضلة. ثم فكر فى عضلة فخذ أو ربلة قوية م
ثل عضلة الفخذ الرباعية أو عضلة الساق)السمانة(.
هنا، قد يتم التحكم فى كل 1000 ليف عضلى بواسطة 1 أو 2 خلية عصبية
فقط مع وحدات حركية كبيرة تحتوى على 500 إلى 1000 ليف عضلى.

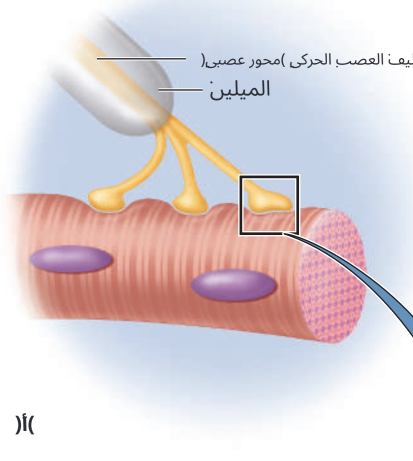
[8] *sarco* = عضلة؛ *mere* = جزء، مقطع

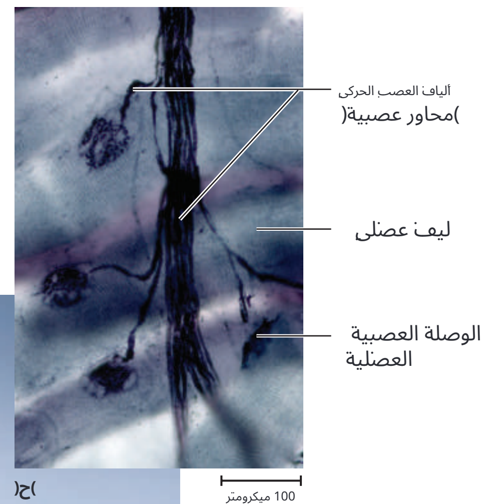
11.3ب الوصلة العصبية العضلية

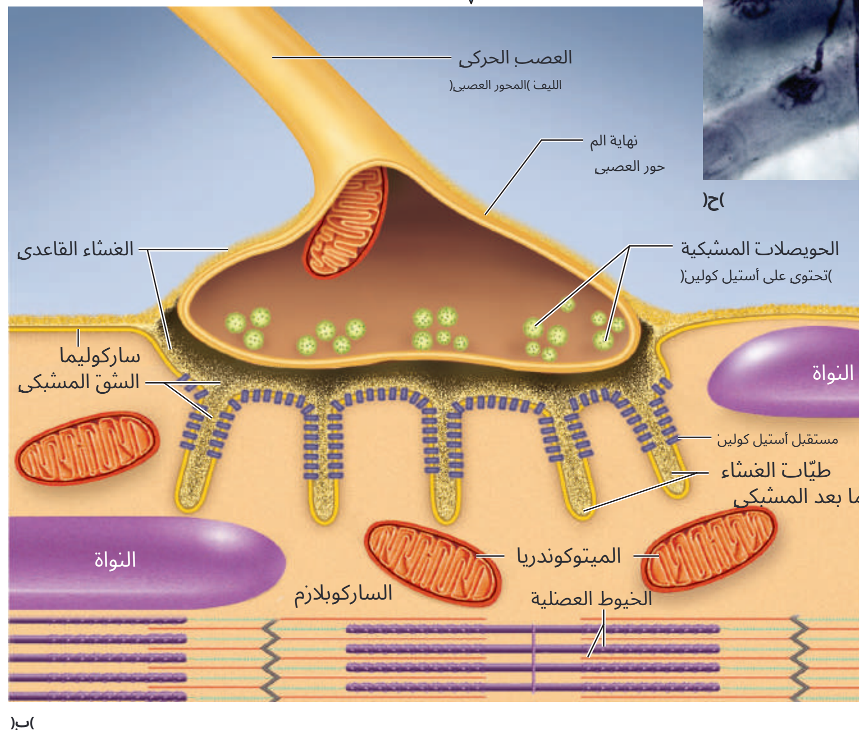
النقطة التى يلتقى فيها ليف عصبى مع أى خلية مستهدفة تسمى الم شبك العصبى (SIN-aps). عندما تكون الخلية المستهدفة ليف عضلى، يُطلق على المشبك العصبى أيضًا الوصلة العصبية العضلية (NMJ) أو صفيحة النهاية الحركية (الشكل 11.7). كل فرع نهائى من الليف العصبى داخل NMJ يشكل مشبكًا منفصلًا مع الليف العضلى. غشاء الساركوليما فى NMJ يكون منغمسًا، يشبه قليلاً بصمة يد مضغوطة فى طين ناعم. إذا تخيلت الليف العصبى كأنه ساعدك، يتفرع فى النهاية مثل أصابعك، فإن المشابك الفردية

أو إيقاف بعض الوحدات الحركية ينتج تغييرات نسبية كبيرة فى حركة العضلات، مع زيادات كبيرة فى القوة ولكن مع تحكم دقيق أو رقة قليلة.

بالإضافة إلى التعديلات فى القوة والتحكم، هناك ميزة أخرى لوجود وحدات حركية متعددة فى كل عضلة وهى أنها تعمل بالتناوب. تتعب ألياف العضلات عند تعرضها لتحفيز مستمر. إذا تعبت جميع الألياف فى إحدى عضلات وضعيتك فى نفس الوقت، على سبيل المثال، قد تنهار. لمنع ذلك، تتولى وحدات حركية أخرى المهمة بينما تستعيد الوحدات المتعبة نشاطها، وبالتالى يمكن للعضلة ككل أن تحافظ على انقباض طويل الأمد.







الشكل 11.7 تعصيب العضلة الهيكلية. (أ) نهاية العصب الحركى على ليف عضلى. (ب) تفاصيل الوصلة العصبية العضلية. (ح) صورة مجهر ضوئى (LM) للوصلات العصبية العضلية (قارن صورة SEM فى صفحة افتتاح هذا الفصل). APR

سيكون مثل الانبعاجات التى تضغط بها أطراف أصابعك على الطين. لذلك، يحفز ليف عصبى واحد ليف العضلة عند عدة نقاط قريبة

داخل الوصلة العصبية العضلية)NMJ(.

فى كل مشبك عصبى، ينتهى الليف العصبى بتورم كروى يسمى الطرف المحورى. الطرف لا يلمس
ليف العضلة مباشرة بل يفصله عنه فراغ ضيق يسمى
الفجوة المشبكية، بعرض حوالى 60 إلى 100 نانومتر)أقل بقليل من
سمك غشاء البلازما الواحد(.
يحتوى الطرف المحورى على عضيات كروية تسمى الحويصلات ال مشبكية، وهى مملوءة بمادة كيميائية، أستيل كولين)ASS-eh)ACh(till-CO-leen-(—وهى واحدة من العديد من الناقلات العصبية التى سيتم تقديمها فى الفصل التالى. الإشارة الكهربائية)النبضة العصبية(ا لتى تسير عبر الليف العصبى لا يمكنها عبور الفجوة المشبكية مثل الشر ارة التى تقفز بين الأقطاب—بل تسبب الحويصلات المشبكية فى الخ ضوع لعملية الإفراز الخلوى، مطلقةً الأستيل كولين فى الفجوة. وبالتالى يعمل الأستيل كولين كرسول كيميائى من الخلية العصبية إلى خلية الع ضلة.
للرد على الأستيل كولين، يحتوى كل مشبك على حوالى 50 مليو ن مستقبلات الأستيل كولين —وهى بروتينات مدمجة فى الساركول يما مقابل الأطراف المحورية. لتعظيم عدد مستقبلات الأستيل كولين وبالتالى حساسيتها للناقل العصبى، يحتوى الساركوليما فى هذه المن طقة على طيات بعمق حوالى 1 ميكرومتر، تسمى طيات الغشاء بعد المشبكى)طيات الوصلة(، التى تزيد من مساحة سطح الغشاء الحسا س للأستيل كولين. النوى العضلية تحت هذه الطيات مخصصة خص يصًا لتصنيع مستقبلات الأستيل كولين وبروتينات أخرى فى الساركو ليما المحلية. نقص مستقبلات الأستيل كولين يؤدى إلى ضعف الع ضلات فى مرض *الوهن العضلى الوبيل*)انظر التعمق 11.4(.

الوصلة العصبية العضلية بأكملها محاطة بطبقة أساسية، وهى ح صيرة من الكولاجين والجليكوبروتين تفصل ليف العضلة والنهاية الع صبية عن النسيج الضام المحيط. الطبقة الأساسية

تمر أيضًا عبر الفجوة المشبكية وتملأها تقريبًا. يحتوى كل من الساركو ليما والجزء من الطبقة الأساسية فى الفجوة على إنزيم أستيل كولين إ ستراز)AChE( )ASS-eh-till-CO-lin-ESS-ter-ase(. هذا إنزيم ى كسر الأستيل كولين بعد أن يحفز خلية العضلة؛ لذلك، فهو مهم فى إ يقاف انقباض العضلة والسماح لها بالاسترخاء)انظر التعمق 11.1(.

11.3ح الخلايا القابلة للاستثارة كهربائياً

تُعتبر خلايا العضلات والأعصاب خلايا قابلة للاستثارة كهربائيًا لأن أغ شيتها البلازمية تظهر تغيرات فى الجهد استجابةً للتحفيز. دراسة الن شاط الكهربائى للخلايا، المعروفة باسم الفيزيولوجيا الكهربائية، هى م فتاح لفهم نشاط الأعصاب، انقباض العضلات، نبضات القلب وتخط يط القلب الكهربائى، وغيرها من الظواهر الفسيولوجية. تفاصيل الفيز يولوجيا الكهربائية مقدمة فى الفصل 12، لكن يجب تقديم بعض الم بادئ الأساسية هنا لتتمكن من فهم إثارة العضلات.

تعتمد النشاط الكهربائى للخلايا على الفروقات فى تركيز الأيونات فى السائل داخل الخلية)ICF(والسائل خارج الخلية)ECF(المجاور لغ شاء البلازما. يحتوى السائل داخل الخلية على تركيز أكبر من الأنيونات السالبة مقارنة بالسائل خارج الخلية — وخاصة البروتينات المشحونة سلبًا، والأحماض النووية، والفوسفات، التى تُحبس داخل الخلية وتع طى داخلها شحنة سالبة صافية. بمعنى أن الغشاء يكون مستقطبًا، م ثل بطارية صغيرة. علاوة على ذلك، يحتوى السائل داخل الخلية على تركيز أعلى بكثير من أيونات البوتاسيوم)K^+(مقارنة بالسائل خارج الخ لية، فى حين يحتوى السائل خارج الخلية على تركيز أعلى بكثير من أيو نات الصوديوم)Na^+(. تُحفز الأحداث الكهربائية التى تبدأ انقباض الع ضلات بحركات هذين الكاتيونين عبر الغشاء عندما تُثار خلية عضلية أ و عصبية.



نظرة أعمق 11.1

تطبيق سريرى

السموم العصبية العضلية والشلل

السموم التى تتداخل مع وظيفة المشبك العصبى يمكن أن تشل العضلات. مبيدات الفوسفات العضوية مثل المالاثيون هى مثبطات الكولينستراز ترتبط بـ AChE وتمنعها من تحطيم الأستيل كولين.
اعتمادًا على الجرعة، يمكن أن يطيل هذا من تأثير الأستيل كولين ويُنتج شللًا تش نجيًا، وهى حالة تنقبض فيها العضلات ولا تستطيع الاسترخاء؛ سريريًا، يُسمى هذ ا أزمة كولينية. وتشكل خطر الاختناق إذا أثرت على عضلات الحنجرة والتنفس.

مثال آخر على الشلل التشنجى هو التيتانوس)تقلص الفك(، الناجم عن سم بكتير يا التربة، كلوستريديوم التيتانى. فى الحبل الشوكى، الناقل العصبى المسمى الح ليسين عادةً ما يمنع الخلايا العصبية الحركية من إحداث انقباضات عضلية غير مر غوب فيها. سم التيتانوس يمنع إفراز الجليسين وبالتالى يسبب فرط التحفيز وال شلل التشنجى للعضلات.

الشلل الرخو هو حالة تكون فيها العضلات مرتخية ولا تستطيع الانقباض. يم كن أن يسبب هذا أيضًا توقف التنفس إذا أثر على عضلات الصدر. من أسباب ال شلل الرخو سموم مثل الكورار)cue-RAH-ree(، التى تتنافس مع الأستيل كولين على مواقع المستقبلات لكنها لا تحفز العضلة. يُستخرج الكورار من بعض النباتات

ويستخدمه بعض السكان الأصليين فى أمريكا الجنوبية لتسميم سهام النفخ. وقد ا ستُخدم لعلاج التشنجات العضلية فى بعض الاضطرابات العصبية ولإرخاء عضلا ت البطن أثناء الجراحة، لكن تم استبدال الكورار الآن بمعظم مرخيات العضلات الأ خرى لأغراض متعددة.
سبب آخر للشلل الرخو هو التسمم الوشيقى، وهو نوع من التسمم الغذائى ا لناجم عن سم عصبى عضلى تفرزه بكتيريا
كلوستريديوم بوتولينوم. سم البوتولينوم يمنع إفراز الأستيل كولين. يتم تسويق سم البوتولينوم النقى تحت اسم بوتوكس تجميلى. يُحقن بجرعات صغيرة فى عضلات الوجه المحددة. تختفى التجاعيد تدريجياً مع حدوث شلل العضلات خلال الساعا ت القليلة التالية. تستمر تأثيرات العلاج حوالى ٤ أشهر حتى تعود العضلات للتوتر وتعود التجاعيد. أصبح علاج البوتوكس إجراءً طبياً تجميلياً سريع النمو فى الولايات المتحدة، حيث توسع استخدامه ليشمل حالات أخرى ويذهب العديد من الأشخا ص للعلاج التجميلى كل بضعة أشهر. ومع ذلك، كانت له بعض العواقب غير المرغ وبة، حيث يُعطى أحياناً من قبل ممارسين غير مؤهلين. حتى بعض الأطباء المؤه لين يستخدمونه لعلاجات لم توافق عليها إدارة الغذاء والدواء)FDA(بعد، ويقيم بع ضهم حفلات "بوتوكس" لعلاج المرضى بطريقة خط التجميع.

سلوك ألياف العضلات الهيكلية 11.4

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. شرح كيف يحفز ليف عصبى ليف عصلى هيكلى؛

ب. اشرح كيف يؤدى تحفيز ليف عصلى إلى تنشيط آلية الانقباض الخاصة به؛

ج. اشرح آلية انقباض العضلة؛

د. اشرح كيف يسترخى الليف العضلى؛ و

هـ. اشرح لماذا تعتمد قوة انقباض العضلة على طول العضلة قبل التحفيز.

تمر عملية انقباض واسترخاء العضلة بأربع مراحل رئيسية:)1(الإثارة،)2(اقتران الإثارة بالانقباض،)3(الانقباض، و)4(الاسترخاء. تحدث كل مرحلة عبر عدة خطوات أصغر، والتى سنستعرضها الآن بالتفصيل.

11.4أ الإثارة

الإثارة هى العملية التى تؤدى فيها إمكانات الفعل فى ليف العصب الحركى إلى إمكانات فعل فى الليف العضلى. الخطوات فى الإثارة موضحة فى الشكل 11.8. تابع الشكل بعناية أثناء قراءة الوصف التالى لضمان فهم العملية.

1 تصل إشارة عصبية إلى نهاية المحور العصبى وتفتح قنوات الكالسيوم التى تتحكم بها الجهد الكهربائى. تدخل أيونات الكالسيوم إلى النهاية العصبية.

2 الكالسيوم يحفز الحويصلات المشبكية على إفراز الأسيتيل كولين)ACh(فى الشق المشبكى. يسبب جهد الفعل الواحد إفراز حوالى 60 حويصلة، وتفرز كل حويصلة حوالى 10,000 جزىء من الأسيتيل كولين.

3 ينتشر الأسيتيل كولين)ACh(عبر الشق التشابكى ويرتبط بالمستقبلات على الساركوليما.

4 هذه المستقبلات هى قنوات أيونية تفتح بواسطة الارتباط بالليجاند. يجب أن يرتبط جزيئان من الأسيتيل كولين بكل مستقبل لفتح القناة. عند فتحها، يتدفق Na^+ بسرعة إلى داخل الخلية بينما يتدفق K^+ ببطء إلى الخارج. يرتفع الجهد على الساركوليما بسرعة إلى قيمة أقل سلبية مع دخول Na^+ إلى الخلية، ثم يعود إلى جهد الراحة)RMP(عند إغلاق القنوات. يُسمى هذا التغير السريع فى الجهد عند صفيحة النهاية الحركية بـ جهد صفيحة النهاية (EPP).

5 المناطق المجاورة للساركوليما بالقرب من صفيحة النهاية تحتوى على قنوات أيونية تفتح استجابةً لجهد صفيحة النهاية)EPP(. بعض هذه القنوات مخصصة لـ Na^+ وتسمح بدخوله إلى الخلية، فى حين أن البعض الآخر مخصص لـ K^+ ويسمح بخروجه. تؤدى هذه الحركات الأيونية إلى خلق *جهد الفعل*. الآن تكون ألياف العضلات مثارة.

الفرق فى الشحنة الكهربائية من نقطة إلى أخرى يُسمى الجهد الكهربائى أو الفولتية. على سبيل المثال، عادةً ما يقيس 12 فولت)V(لبطارية سيارة و1.5 فولت لبطارية مصباح يدوى. على الساركوليما)غشاء البلازما(لخلية العضلة، يكون الجهد أصغر بكثير، حوالى −90 ملى فولت)mV(، لكنه مهم جداً للحياة.)تشير الإشارة السالبة إلى الشحنة السالبة النسبية على الجانب الداخلى للغشاء.(يُسمى هذا الجهد جهد الغشاء الراكد)RMP(. ويتم الحفاظ عليه بواسطة مضخة الصوديوم–البوتاسيوم، كما هو موضح فى القسم 12.4ب.

عندما يتم تحفيز خلية عصبية أو عضلية، تحدث تغييرات كهربائية دراماتيكية، كما سنرى قريباً فى إثارة العضلة. تفتح قنوات الأيونات فى غشاء البلازما ويتدفق Na^+ فوراً إلى داخل الخلية، مدفوعاً بفارق تركيزه عبر الغشاء وجاذبيته للشحنة السالبة داخل الخلية — أى أنه يتدفق نزولاً على التدرج الكهروكيميائى. تتغلب هذه الأيونات Na^+ على الشحنة السالبة الموجودة داخل الغشاء، فيصبح داخل الغشاء موجبا لفترة وجيزة. يُسمى هذا إزالة الاستقطاب للغشاء. فوراً، تُغلق قنوات Na^+ وتفتح قنوات K^+. يندفع K^+ خارج الخلية، جزئياً لأنه يُطرد بواسطة الشحنة الموجبة للصوديوم وجزئياً لأنه أكثر تركيزاً فى السائل داخل الخلية)ICF(منه فى السائل خارج الخلية)ECF(— أى أنه يتدفق نزولاً على تدرجه الكهروكيميائى فى الاتجاه المعاكس لحركة الصوديوم. فقدان أيونات K+ من الخلية يعيد الشحنة السالبة إلى داخل الغشاء

)إعادة الاستقطاب(. هذا التغير السريع فى الجهد، من جهد الراحة السالب إلى قيمة موجبة ثم العودة إلى جهد الراحة مرة أخرى، يُسمى جهد الفعل. جهد الراحة هو جهد مستقر يُرى فى الخلية "المنتظرة"، بينما جهد الفعل هو جهد متقلب بسرعة يُرى فى الخلية النشطة والمحفزة.

لجهود الفعل طريقة فى استمرار نفسها — جهد فعل فى نقطة واحدة على غشاء البلازما يسبب حدوث جهد فعل آخر فوراً أمامه، مما يحفز جهد فعل آخر أبعد قليلاً، وهكذا. يُسمى موجة جهود الفعل التى تنتشر على طول ليف عصبى *النبضة العصبية* أو *الإشارة العصبية*. تنتقل هذه الإشارات أيضاً على طول الساركوليما لليف عصلى. يتم شرح جهود الراحة والفعل بشكل أكثر تفصيلاً فى الفصل 12. هنا، سنفحص بعد ذلك كيف تؤدى إلى انقباض العضلة.

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

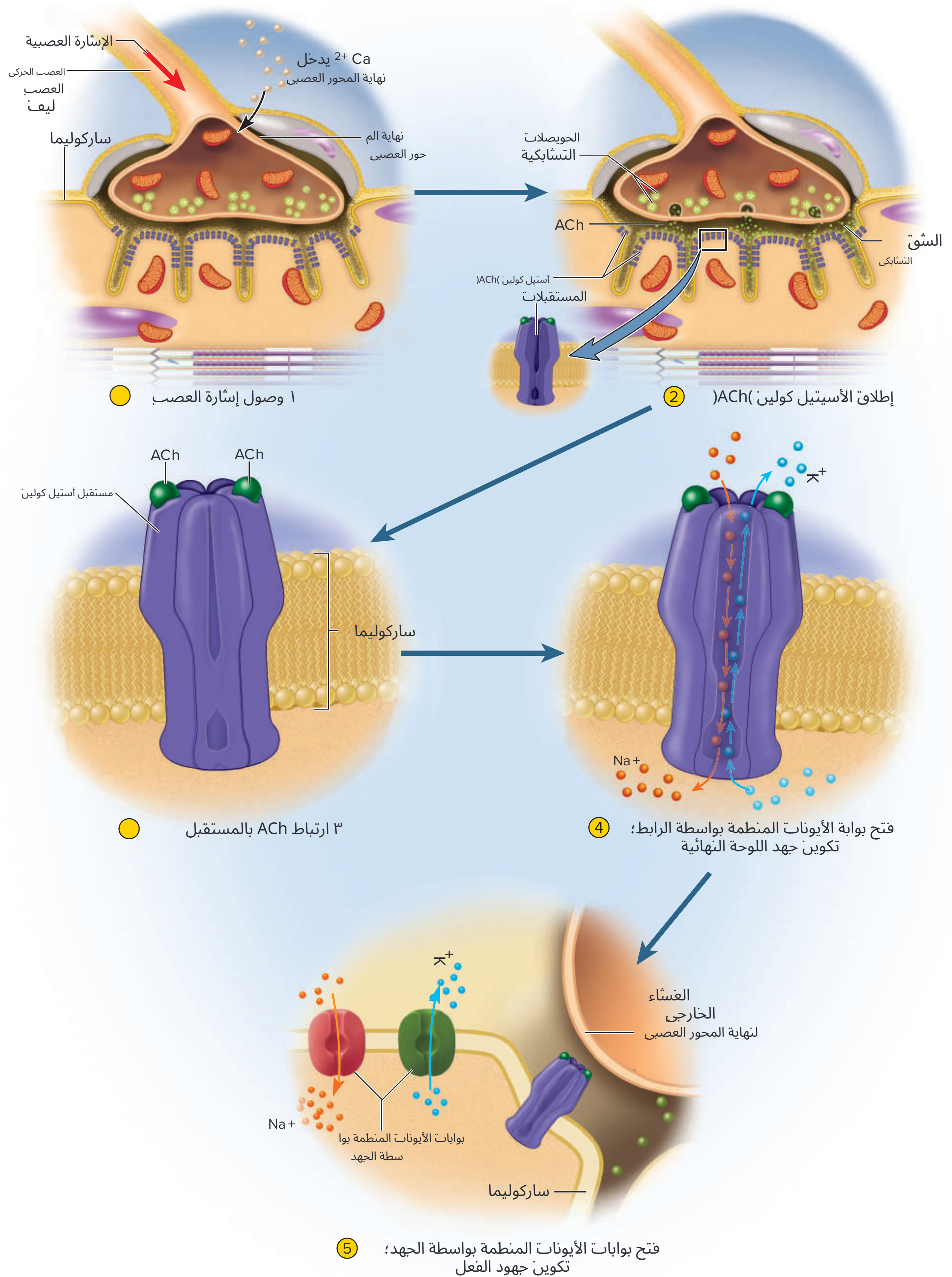
7. ما الفروقات التى تتوقع رؤيتها بين وحدة حركية حيث تكون قوة العضلة أكثر أهمية من التحكم الدقيق، ووحدة حركية أخرى حيث يكون التحكم الدقيق أكثر أهمية؟

8. اذكر وظائف الطرف المحورى وحويصلاته المشبكية.

9. تمييز بين الأسيتيل كولين، مستقبل الأسيتيل كولين، والأسيتيل كولين إستراز. ذكر مكان وجود كل منها ووصف الوظيفة التى يؤديها.

10. ما الذى يفسر جهد الغشاء الراكد الذى يُرى فى الخلايا العصبية والعضلية غير المنبهة؟

11. ما الفرق بين جهد الغشاء الراكد وجهد الفعل؟



الشكل 11.8 تنبيه ليف العضلة. تربط هذه الأحداث بين جهد الفعل فى ليف العصب الحركى وتوليد جهد الفعل فى ليف العضلة. راجع الخطوات المر قمة المقابلة فى النص للتفسير.

يدك التى تمتد للإمساك بحبل المرساة. عندما ينثنى إلى الوراء إلى و
ضع الطاقة المنخفضة، يكون ذلك مثل انثناء مرفقك لسحب الحبل و
رفع المرساة قليلاً. عندما تترك الحبل بيد واحدة، تمسك به باليد الأخر
ى، بالتناوب حتى يتم سحب المرساة. بالمثل، عندما يحرر رأس ميو
سين واحد الأكتين استعدادًا لضربة الاسترداد، هناك العديد من الرؤو
س الأخرى على نفس الخيط السميك تمسك بالخيط الرقيق حتى لا
ينزلق للخلف. فى أى لحظة أثناء الانقباض، يكون حوالى نصف الرؤو
س مرتبطًا بالخيط الرقيق والنصف الآخر يمتد للأمام للإمساك به أبعد
على طول الخيط. أى أن رؤوس الميوسين لا تضرب كلها فى نفس ا
لوقت بل تنقبض بالتتابع.

كل رأس يتحرك بطريقة متقطعة، لكن مئات منها تعمل معًا لتن
تج سحبًا ناعمًا وثابتًا على الخيط الرقيق.
هذا مشابه لحركة الألفية - حيوان يشبه الدودة وله مئات الأرجل الصغ
يرة. شاهد فيديو عبر الإنترنت لألفية تزحف وسترى أن كل رجل تخطو
خطوات متقطعة فردية، لكن جميع الأرجل تعمل معًا لإنتاج حركة انز
لاقية ناعمة، مثل انزلاق خيط عضلى سميك يمشى على خيط رقيق.
لاحظ أنه بالرغم من انقباض ليف العضلة، فإن الخيوط العضلية لا تق
صر أكثر من أن الحبل يقصر عندما تسحب المرساة.

دورة واحدة من ضربات القوة والاسترداد لجميع رؤوس الميوسى
ن فى ليف عضلى ستقصر الليف حوالى 1%. ومع ذلك، قد يقصر الل
يف حتى 40% من طوله فى حالة الراحة، فمن الواضح أن دورة القوة
والاسترداد يجب أن تتكرر عدة مرات لكل رأس ميوسين. كل رأس ين
فذ حوالى خمس ضربات فى الثانية، وكل ضربة تستهلك ATP واحد.

11.4د الاسترخاء

عندما يتوقف العصب عن تحفيزه، يسترخى ليف العضلة ويعود إلى
طوله فى حالة الراحة. يتم تحقيق ذلك من خلال الخطوات الموضحة
فى الشكل 11.11.

14 تتوقف إشارات العصب عن الوصول إلى الوصلة العصبية العضلية، لذا يتوقف
الطرف المحورى عن إفراز الأستيل كولين (ACh).

15 عندما ينفصل الأسيتيل كولين (ACh) عن مستقبلاته، يقوم
إنزيم الأسيتيل كولين إستراز (AChE) بتفكيكه إلى أجزاء لا
تستطيع تحفيز العضلة. يعيد الطرف المحورى امتصاص هذ
ه الأجزاء لإعادة تدويرها. يحدث كل هذا باستمرار أثناء تحفيز ا
لعضلة، ولكن عندما تتوقف الإشارات العصبية، لا يتم إفراز المز
يد من الأسيتيل كولين لتعويض ما يتم تفكيكه. لذلك، يتوق
ف تحفيز ليف العضلة بواسطة الأسيتيل كولين.

16 من الإثارة إلى الانقباض، يقوم الشبكة الساركوبلازمية (SR) بإطلاق وإع
ادة امتصاص الكالسيوم Ca^{2+} فى نفس الوقت؛ ولكن عندما يتوقف ا
لعصب عن الإطلاق وتتوقف الإثارة، يتوقف أيضًا إطلاق Ca^{2+} وى
ستمر فقط إعادة امتصاصه.

17 بفضل إعادة الامتصاص بواسطة الشبكة الساركوبلازمية، ينخفض مس
توى الكالسيوم الحر فى السيتوسول بشكل كبير. عندما ينفصل الكال
سيوم عن التروبونين، لا يتم استبداله.

18 تتحرك التروبوميوسين إلى الموضع الذى يحجب فيه المواقع ا
لنشطة على خيط الأكتين. لم يعد بإمكان الميوسين الارتباط
بالأكتين، ويتوقف ليف العضلة عن إنتاج أو الحفاظ على ال
توتر.

11.4ب اقتران الإثارة بالانقباض

الاقتران بين الإثارة والانقباض يشير إلى الأحداث التى تربط جهد الفع
ل على الساركوليما بتنشيط الخيوط العضلية، مما يهيئها للانقباض. ا
لخطوات فى عملية الاقتران موضحة فى الشكل 11.9.

6 تنتشر موجة من جهود الفعل من لوحة النهاية الحركية
فى جميع الاتجاهات، مثل تموجات على بركة ماء. عندما تصل هذه الموجة من
الإثارة إلى الأنابيب T، تستمر فى النزول عبرها إلى
داخل الخلية.

7 تفتح جهود الفعل قنوات أيونية تعتمد على الجهد فى الأنابي
ب T. هذه القنوات مرتبطة بقنوات الكالسيوم فى الأكياس النها
ئية من الشبكة الساركوبلازمية (SR). وبالتالى، تفتح القنوات فى
SR أيضًا وينتشر الكالسيوم خارج SR، نزولاً على
تدرج تركيزه إلى السيتوسول.

8 يرتبط الكالسيوم بالتروبونين فى الخيوط الرقيقة.

9 يتغير شكل مركب التروبونين-تروبوميوسين ويكشف الموا
قع النشطة على الأكتين. هذا يجعلها متاحة للارتباط برؤوس الم
يوسين.

11.4ح الانقباض

الانقباض هو الخطوة التى يطور فيها ليف العضلة توتراً وقد يقصر. يُط
لق على آلية الانقباض اسم نظرية الانزلاق الخيطى. وتنص على أن ال
خيوط العضلية الدقيقة لا تقصر أثناء الانقباض؛ بل تنزلق الخيوط الر
قيقة فوق الخيوط السميكة وتسحب أقراص Z خلفها، مما يؤدى إلى
تقصير كل ساركومير ككل.

الخطوات الفردية فى هذه الآلية موضحة فى الشكل 11.10.

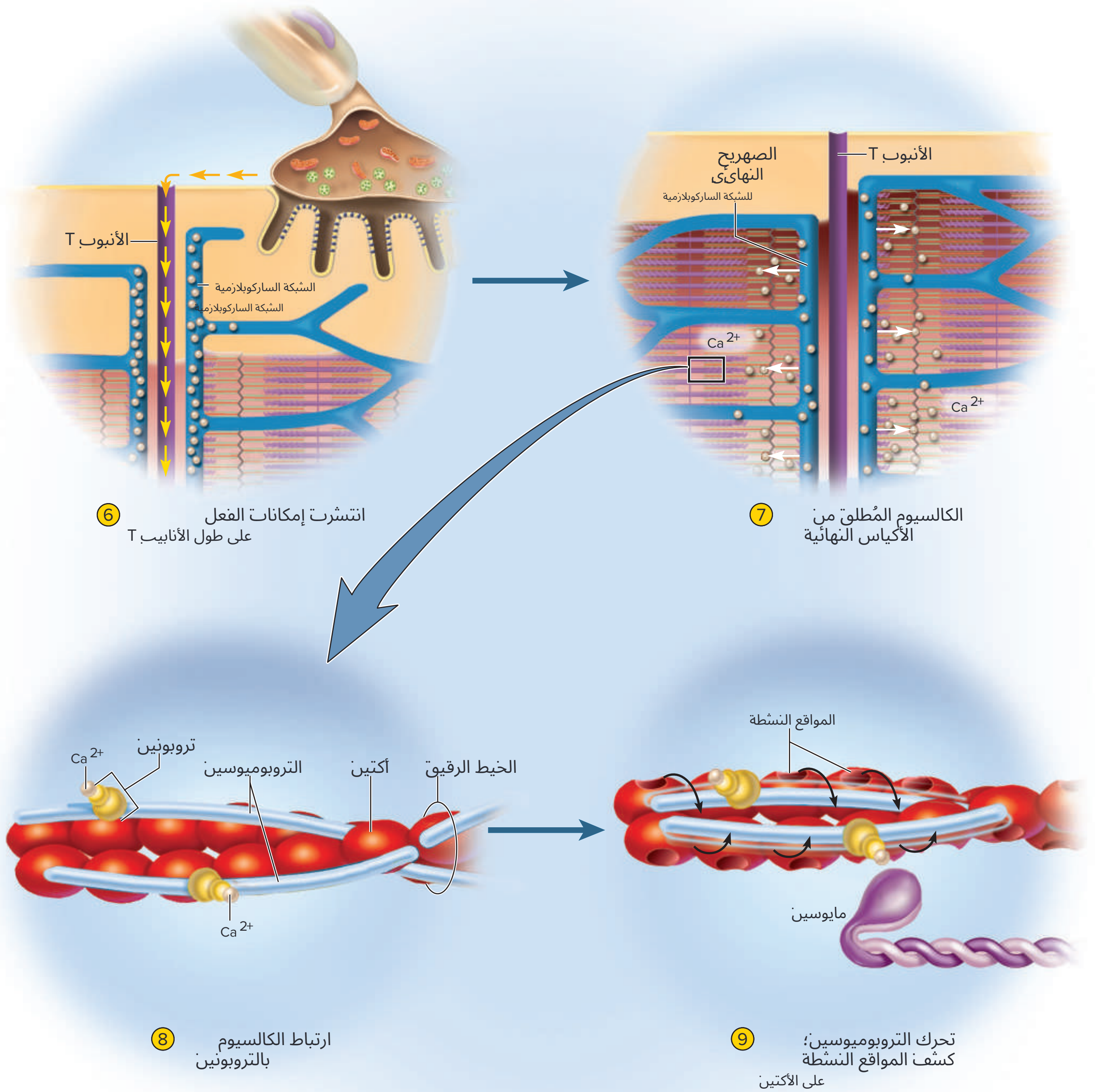
10 يجب أن يكون لدى رأس الميوسين جزىء ATP مرتبط به لبد
ء الانقباض. إن إنزيم ميوسين ATPase، الموجود فى الرأس،
يحلل هذا الـ ATP إلى ADP والفوسفات (iP).
الطاقة المنبعثة من هذه العملية تنشط الرأس، الذى "يُسْ
حن" إلى وضع ممتد عالى الطاقة.
يحتفظ الرأس مؤقتًا بـ ADP و P_i مرتبطين به.

11 يرتبط الميوسين المشحون بموقع نشط مكشوف على الخيط
الرقيق، مكونًا جسرًا عرضيًا بين الميوسين والأكتين.

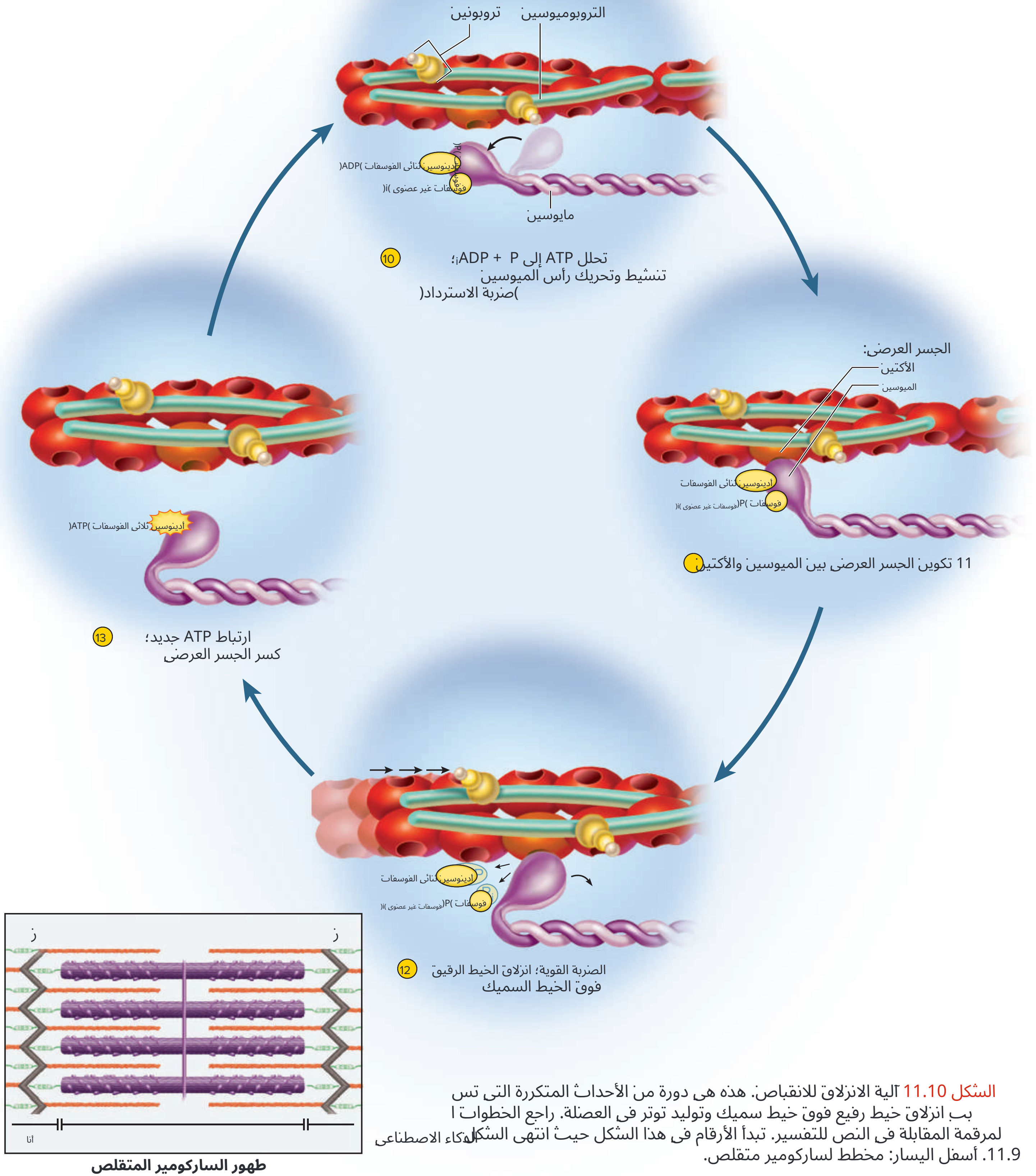
12 يُطلق الميوسين الـ ADP و iP وينثنى إلى وضع منخفض الطاقة،
مما يسحب الخيط الرقيق معه. يُسمى هذا بـ "ضربة القوة". ى
بقى الرأس مرتبطًا بالأكتين حتى يرتبط بجزىء ATP جديد.

13 ارتباط ATP جديد مع الميوسين يؤدى إلى زعزعة رابطة ا
لميوسين-الأكتين، مما يكسر الجسر العرضى. رأس الميوسين
الآن يخضع لضربة استرداد. يقوم بتحليل ATP الجديد، ويعيد
التهيئة (يعود إلى الخطوة 10)، ويرتبط بموقع نشط جديد أبعد ع
لى الخيط الرقيق، جاهزًا لضربة قوة أخرى.

قد يبدو أن تحرير الخيط الرقيق فى الخطوة 13 سيسمح له ببسا
طة بالانزلاق إلى موقعه السابق، لذا لم يتم إنجاز شىء. مع ذلك، فكر
فى آلية الانزلاق كطريقة لسحب مرساة القارب يدًا بيد. عندما يتهيأ را
س الميوسين، يكون ذلك مثل

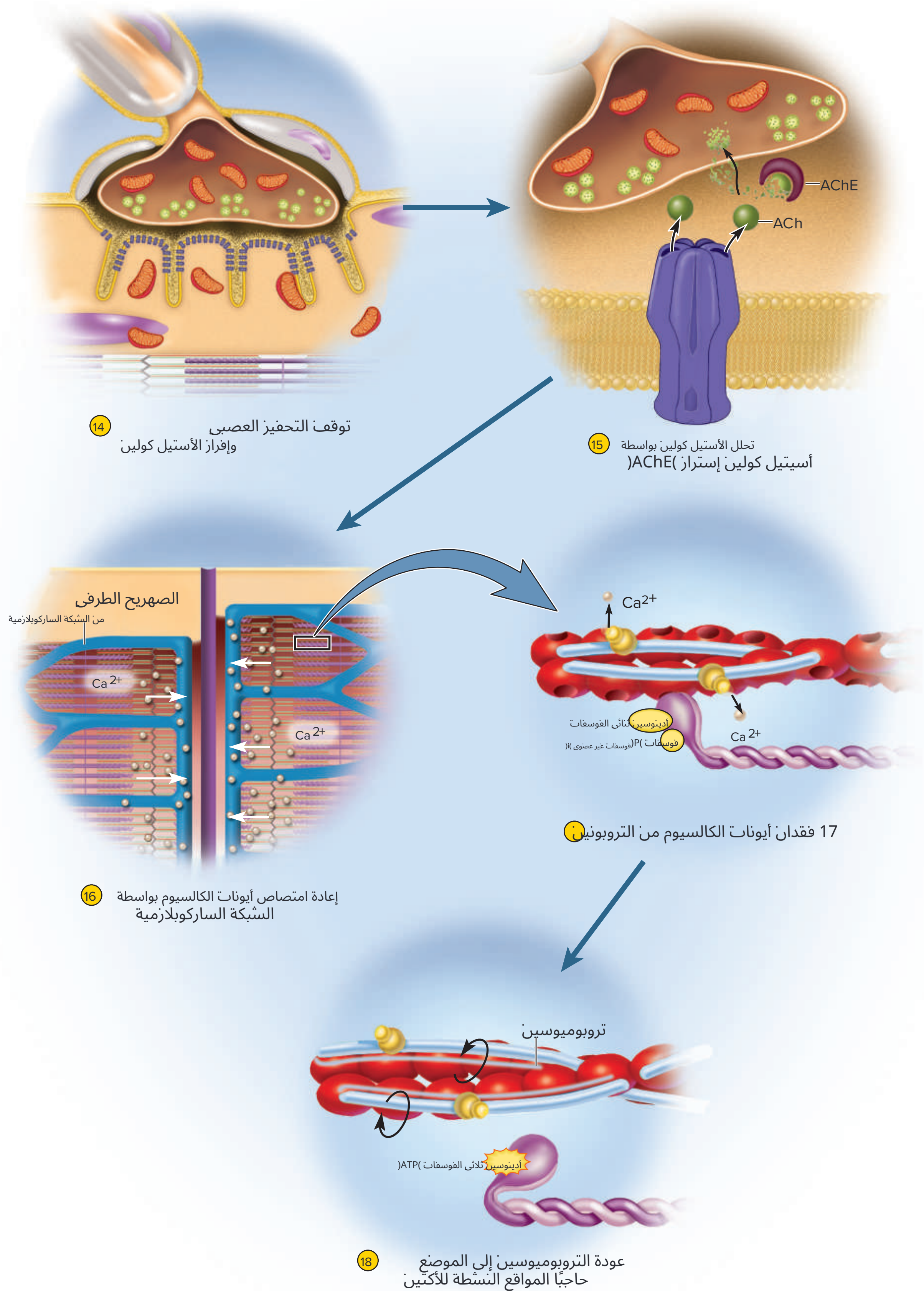


الشكل 11.9 الاقتران بين الإثارة والانقباض. تربط هذه الأحداث بين إمكانات الفعل فى ليف العضلة وإطلاق وربط أيونات الكالسيوم. راجع الخطوات المرقمة المقابلة فى النص للتفسير. تبدأ الأرقام فى هذا الشكل من حيث انتهى الشكل 11.8.



طهور الساركومير المتقلص

الشكل 11.10 آلية الانزلاق للانقباض. هذه هى دورة من الأحداث المتكررة التى تس
بب انزلاق خيط رفيع فوق خيط سميك وتوليد توتر فى العضلة. راجع الخطوات ا
لمرقمة المقابلة فى النص للتفسير. تبدأ الأرقام فى هذا الشكل حيث انتهى الشكل
11.9. أسفل اليسار: مخطط لساركومير متقلص.



الشكل 11.11 استرخاء ليف عضلي. تؤدي هذه الأحداث من توقف إشارة العصب إلى تحرير الخيوط الرقيقة بواسطة الميوسين. انظر الخطوات المرقمة المقابلة في النص للتفسير. تبدأ الأرقام في هذا الشكل حيث انتهى الشكل 11.10.

نظرة أعمق 11.2



تطبيق سريرى

تيبس الموت

تيبس الموت[9] هو تصلب العضلات وتيبس الجسم الذى يبدأ بعد 3 إلى 4 ساعات من الوفاة. يحدث جزئياً لأن الشبكة الساركوبلازمية المتدهورة تطلق الكالسيوم إلى السيتوسول، والساركوليما المتدهورة تسمح بدخول المزيد من الكالسيوم من السائل خارج الخلوى. الكالسيوم ينشط الربط المتقاطع بين الميوسين والأكتين. بمجرد ارتباط الميوسين بالأكتين، لا يمكنه الإفلات منه دون الارتباط أولاً بجزىء A TP، وبالطبع لا يتوفر ATP فى الجسم الميت. لذلك، تبقى ال خيوط السميكة والرقيقة مرتبطة بشكل صلب حتى تبدأ الخيوط العضلية بالتحلل. يصل تيبس الموت إلى ذروته بعد حوالى 12 ساعة من الوفاة ثم يتناقص خلال الـ 48 إلى 60 ساعة التالية.

بين هذين الحدين، هناك طول راحة مثالى تستجيب عنده العضلة بأقصى قوة. فى هذا النطاق)القمة المسطحة للمنحنى(، تكون الساركوميرات بطول 2.0 إلى 2.25 ميكرومتر. إذا كانت الساركوميرات أقل من 60% أو أكثر من 175% من طولها الأمثل، فإنها لا تولد أى توتر على الإطلاق استجابةً للمحفز.

يتم اشتقاق منحنى الطول-التوتر الكامل من عضلات معزولة من حيوان)غالبًا عضلة الساق الضفدعية gastrocnemius(لتحفيزها ف ى المختبر. فى الواقع، العضلة *فى موضعها الطبيعى*)فى وضعها ال طبيعى داخل الجسم الحى(لا تكون مطولة أو منقبضة بشكل مفرط كما تُظهر الجوانب اليمنى واليسرى من الشكل. أولاً، ترتبط العضلات بالعظام وتقيّد حركة العظام، مما يحد من انقباض العضلات إلى النطا ق المتوسط للمنحنى. ثانيًا، يراقب الجهاز العصبى المركزى طول الع ضلات فى حالة الراحة باستمرار ويضبطه، محافظًا على حالة انقباض جزئى تُسمى توتر العضلة. هذا يحافظ على طول الساركومير الأمثل و يجعل العضلات جاهزة بشكل مثالى للعمل. تساعد الخيوط المرنة فى الساركومير أيضًا فى الحفاظ على تداخل كافٍ بين الخيوط العضلية ل ضمان انقباض فعال عندما تُستدعى العضلة للعمل.

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

12. ما التغيير الذى يسببه الأستيل كولين)ACh(فى مستقبل الأستيل كولين؟ كيف يؤثر هذا كهربائيًا على ليف العضلة؟
13. كيف ينظّم التروبونين والتروبوميوسين التفاعل بين الميوسين والأ كتين؟
14. صف الأدوار التى يلعبها ATP فى ضربات القوة والاسترداد للميو سين.
15. ما الخطوات اللازمة لكى تعود العضلة المنقبضة إلى طولها فى حالة ا لراحة؟

[9]*تيبس* = الصلابة؛ *الموت* = الوفاة

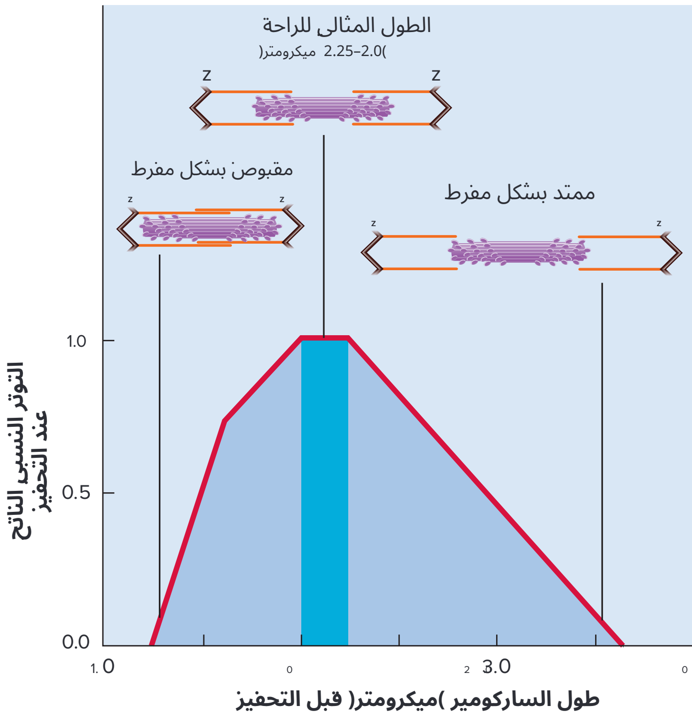
الاسترخاء وحده لا يعيد العضلة إلى طولها فى حالة الراحة. يجب تحقيق ذلك بواسطة قوة تسحب العضلة وتُمددها. على سبيل ا لمثال، إذا قام العضلة ذات الرأسين بثنى المرفق ثم استرخى، فإنها تمتد مرة أخرى إلى طولها فى حالة الراحة فقط إذا تم تمديد المرفق بواسطة انقباض العضلة ثلاثية الرؤوس أو بواسطة جذب الجاذبية على الساعد.

طبق ما تعرفه

واحدة من أهم خصائص البروتينات هى قدرتها على تغيير الشكل بشكل متكرر)انظر القسم 2.4e(. حدد على الأقل بروتينين عضل يين يجب أن يغيرا شكلهما لكى تنقبض العضلة وتسترخى.

11.4e العلاقة بين الطول والتوتر ونغمة العضلة

التوتر الناتج عن العضلة، وبالتالى قوة انقباضها، يعتمد على مدى تمد دها أو انقباضها فى البداية. يُطلق على هذا المبدأ اسم علاقة الطول-ا لتوتر. يمكن رؤية أسباب ذلك فى الشكل 11.12. إذا كانت الألياف قد انقبضت بالفعل بشكل مفرط، فإن الخيوط السميكة ستكون قريبة ح دًا من أقراص Z، كما هو موضح فى الجانب الأيسر من الشكل. لا يم كن للألياف أن تنقبض أكثر قبل أن تصطدم الخيوط السميكة بأقراص Z وتتوقف. سيكون الانقباض قصيرًا وضعيفًا. من ن احية أخرى، إذا كانت ألياف العضلة ممدودة للغاية، كما فى الجانب الأ يمن، فسيكون هناك تداخل قليل بين الخيوط السميكة والرقيقة. لن تتمكن رؤوس الميوسين من الإمساك بالخيوط الرقيقة، ومرة أخرى سيكون الانقباض ضعيفًا.



الشكل 11.12 علاقة الطول-التوتر.



نظرة أعمق 11.3

التاريخ الطبى

جالفانى، فولتا، والكهرباء الحيوانية

يمكن تتبع اختراع الخلايا الجافة الحديثة إلى دراسات عضلة الضفدع التى أجراها عالم التشريح الإيطالى لويجى جالفانى (1737–1798). قام بتعليق أرجل الضفادع المعزولة على خطاف نحاسى ولاحظ أنها ترتعش عند لمسها بمشرط حديدى. نسب ذلك إلى "الكهرباء الحيوانية" فى الأرجل. قام الفيزيائى أليساندرو فولتا (1745–1827) بالتحقيق فى اكتشاف جالفانى بشكل أعمق. وخلص إلى أنه عندما يتم فصل معدنين مختلفين (مثل الخطاف النحاسى والمشرط الحديدى) بواسطة محلول إلكتروليتى (سوائل أنسجة الضفدع)، تحدث تفاعل كيميائى ينتج تيارًا كهربائيًا. هذا التيار هو الذى حفز العضلة فى أرجل ضفادع جالفانى وتسبب فى الارتعاش. استنادًا إلى هذا المبدأ، اخترع فولتا أول خلية فولتية بسيطة، والتى كانت السلف للخلايا الجافة وبطاريات السيارات الحالية. ظلت عضلة الغاستروكنيميوس فى الضفدع والعصب الوركى المتصل بها، والتى عادةً ما تُزال من الجسم وتُربط بمعدات تحفيز وتسجيل مختبرية، تحضيرًا شائعًا لأبحاث العضلات وتعليم فسيولوجيا العضلات لقرون منذ زمن جالفانى وفولتا، وحتى اليوم.

مرحلة الانقباض قصيرة الأمد لأن الشبكة الساركوبلازمية تبدأ بسرعة فى إعادة امتصاص Ca^{2+} حتى قبل أن تطور العضلة القوة القصوى. مع انخفاض مستوى Ca^{2+} يطلق الميوسين الخيوط الرقيقة وينخفض توتر العضلة. هذا يؤدى إلى مرحلة الاسترخاء التى ترى فى الميوغرام. كما يظهر من عدم تماثل الميوغرام، العضلة تنقبض أسرع مما تسترخى. يستمر الارتعاش بأكمله من حوالى 7 إلى 100 مللى ثانية، لذا يمكن للعضلة نظريًا إكمال حوالى 10 إلى 140 ارتعاشًا فى الثانية (لو كان الحساب فقط هو المهم).

11.5ب شدة المنبه وقوة الانقباض

من الواضح من تجربتنا اليومية أن العضلة لا تنقبض دائمًا بنفس القوة؛ يجب أن تكون قوة الانقباض متناسبة مع المهمة المطلوبة. هذه القوة، كما سنرى الآن، تعتمد على شدة المنبه. فى التحفيز الاصطناعى الذى وصفناه، هناك مكونان للشدة— *الجهد الكهربائى* لكل منبه يُطبق بواسطة القطب، و *التردد*، أو عدد المنبهات فى الثانية.

يمكن إثبات هذه العلاقات بين قوة الانقباض و جهد وتردد المنبه باستخدام تحضير العصب الطنبوبى-عضلة الساق الضفدعية المذكور فى التعمق 11.3. وهى تنطبق بنفس القدر على العضلة البشرية. أولاً، اعتبر مثل هذا الإعداد حيث نحفز العضلة مباشرة بواسطة قطب كهربائى. منبه ضعيف منخفض الجهد لا يُحدث استجابة. إذا زدنا الجهد تدريجيًا وحفزنا فى كل مرة، نجد فى النهاية جهدًا أدنى يُحدث ارتعاشًا عضليًا؛ يُسمى هذا الجهد العتبة. رفع الجهد أكثر، مع ثبات الشروط الأخرى، لا ينتج ارتعاشات أقوى من تلك عند العتبة. يبدو سطحيًا أن العضلة تعطى أقصى استجابة بمجرد أن تكون شدة المنبه عند العتبة أو أعلى.

سلوك العضلات الكاملة 11.5

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

a. وصف مراحل التشنج العضلى؛

ب. شرح كيف يمكن لتشنجات العضلات المتتالية أن تتجمع لإنتاج تقلصات عضلية أقوى؛

ج. التمييز بين التقلص الإيزومترى والتقلص الإيزوتونى؛ و

د. التمييز بين التقلص المركزى والتقلص اللامركزى.

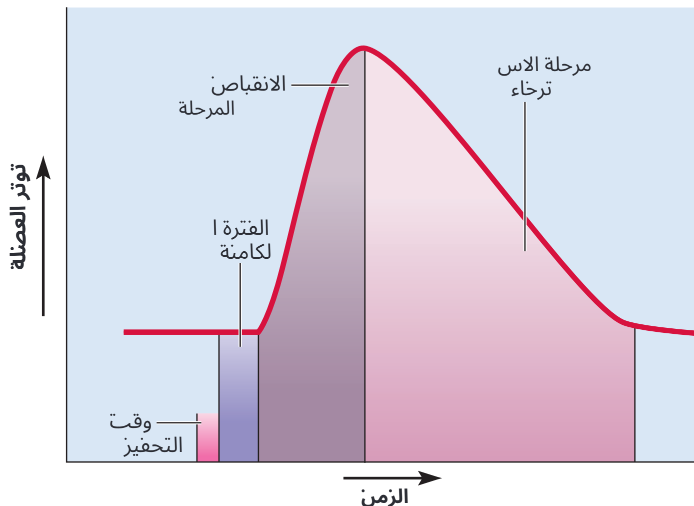
الآن أنت تعرف كيف يقصر خلية عضلية فردية. هدفنا التالى هو الانتقال إلى مستوى العضو فى الهيكل والنظر فى كيفية ارتباط ذلك بفعل العضلة ككل.

11.5a تقلصات العضلات

عندما يتم تحفيز العضلة مباشرة بواسطة قطب كهربائى، فإنها تظهر دورة سريعة من الانقباض والاسترخاء تُسمى ارتعاش العضلة. الشكل 11.13 هو رسم بيانى للارتعاش، يُسمى الميوغرام، يُظهر المراحل الثلاث للاستجابة. الخط الأحمر يمثل كمية التوتر فى العضلة.

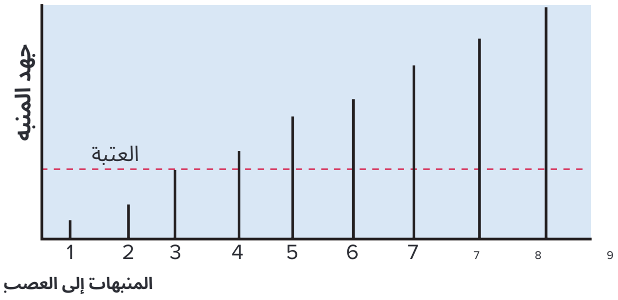
على اليسار، نرى أنه عندما يتم تحفيز العضلة لأول مرة، فإنها لا تستجيب فورًا. هناك تأخير، عادةً حوالى 2 مللى ثانية (مللى ثانية)، يُسمى الفترة الكامنة. هذا هو الوقت المطلوب للإثارة، اقتران الإثارة-الانقباض، وشد المكونات المرنة داخل العضلة. القوة المتولدة خلال الفترة الكامنة تُسمى التوتر الداخلى. لا تظهر على الميوغرام لأنها لا تسبب تقصير العضلة.

بمجرد أن تصبح المكونات المرنة مشدودة، تبدأ العضلة فى إنتاج التوتر الخارجى وتحريك جسم مقاوم، أو حمولة، مثل عظم أو طرف من الجسم. هذه هى مرحلة الانقباض فى الارتعاش. بالمثل، تخيل رفع وزن معلق من شريط مطاطى. فى البداية، التوتر الداخلى فقط سيمدد الشريط المطاطى. ثم، عندما يشد الشريط المطاطى، التوتر الخارجى سيرفع الوزن.

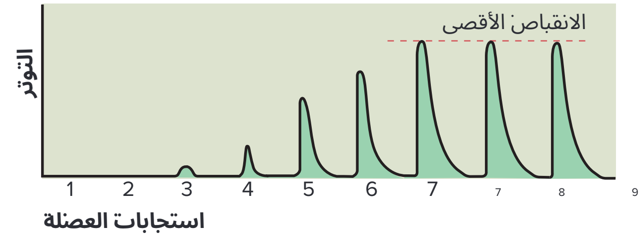


الشكل 11.13 ميوغرام مثالى لارتعاش عضلى.

ما الدور الذى يلعبه ATP خلال مرحلة الاسترخاء؟







الشكل 11.14 العلاقة بين شدة المنبه)الجهد الكهربائى(وتوتر العضلة.
الصف العلوى: تسعة منبهات ذات شدة متزايدة. المنبهان الأولان أقل م
ن العتبة. الصف الأوسط: مقطع عرضى لعصب حركى يحتوى على سبعة
ألياف عصبية. الألياف العصبية الملونة هى التى تم تنشيطها؛ لاح
ظ أنه لا يتم تنشيط أى منها بواسطة المنبهات تحت العتبة أعلاه. الصف ا
لسفلى: رسم بيانى لتوتر العضلة.
المنبهات تحت العتبة)1–2(لا تُحدث انقباضًا فى العضلات. عندما ت
صل المنبهات إلى العتبة أو تتجاوزها)3–7(، فإنها تثير المزيد والمزيد من
ألياف الأعصاب ووحدات الحركة؛ وبالتالى، تُنتج انقباضات أقوى وأقوى. هذا
هو تجميع وحدات الحركة المتعددة)التجنيد(.
بمجرد تحفيز جميع ألياف الأعصاب)7-9(، لا يؤدى زيادة قوة
المنبه إلى زيادة إضافية فى توتر العضلة.

معًا فى الوقت، أو تجميع الموجات، لأنه ينتج عن موجة واحدة من ا
لانقباض تضاف إلى أخرى. موجة تلو موجة، كل رفرفة تصل إلى مس
توى أعلى من التوتر من التى قبلها، ويسترخى العضل جزئيًا فقط بين
المحفزات. هذا التأثير ينتج حالة من الانقباض المتقطع المستمر تسم
ى التشنج غير الكامل.
فى المختبر، يمكن تحفيز عضلة معزولة بتردد عالٍ بحيث تندمج ا
لتشنجات إلى انقباض واحد غير متذبذب يُسمى التشنج الكامل)المن
دمج( )الشكل 11.15ح(. ومع ذلك، لا يحدث هذا فى الجسم لأن الخلا
يا العصبية الحركية لا تطلق النبضات بهذه السرعة. فى الواقع، هناك آ
لية تثبيط فى الحبل الشوكى تمنعها من ذلك. التشنج الكامل صار بال
عضلات والأنسجة الرخوة المرتبطة بها، لذا فإن التثبيط الشوكى يحم
ى العضلات من خلال منع التشنج الكامل. لا ينبغى الخلط بين تشنج ا
لعضلات ومرض يحمل نفس الاسم ناتج عن سم التتانوس)انظر التع
موق 11.1(.

على الرغم من التقلص المتقطع الذى يُرى فى التشنج غير الكامل
، نعلم أن العضلة ككل يمكن أن تنقبض بسلاسة كبيرة. هذا ممكن لأ
ن الوحدات الحركية تعمل بشكل غير متزامن؛ عندما تسترخى وحدة ح
ركية واحدة، تنقبض أخرى وتتولى المهمة بحيث لا تفقد العضلة توتره
ا.

ومع ذلك، حتى عند جهد ثابت، يمكن أن تختلف التشنجات فى القوة تحت الظروف الطبيعية. ويرجع ذلك إلى عدة أسباب:

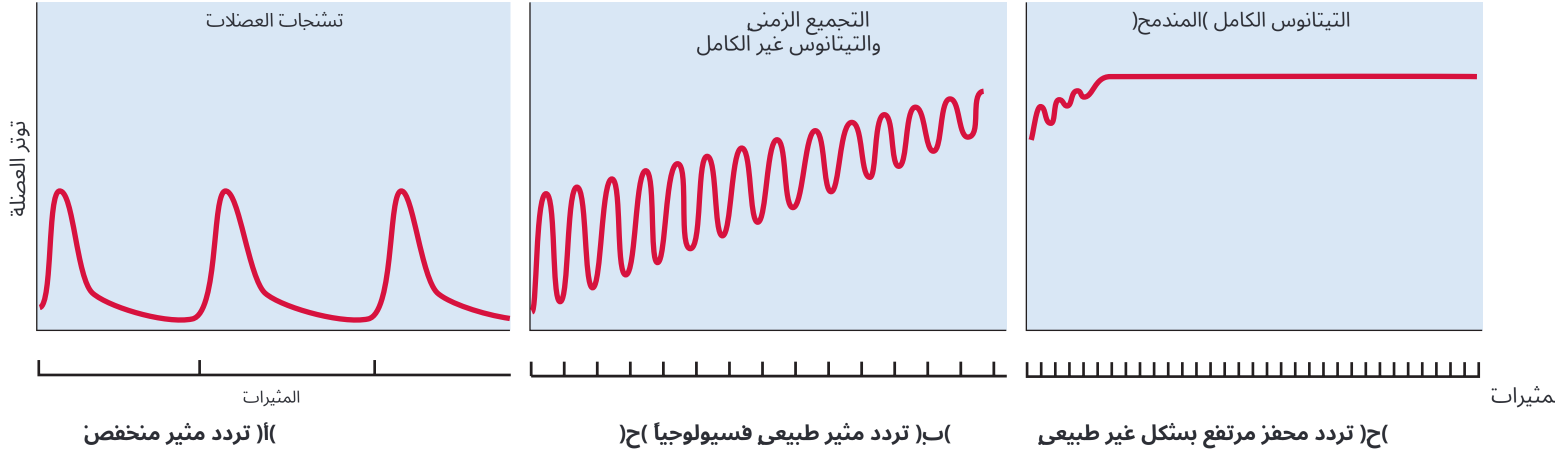
- تعتمد قوة التشنج على مدى تمدد العضلة قبل تحفيزها مباشرة، كما رأينا للتو فى علاقة الطول–التوتر.
- تصبح التشنجات أضعف مع تعب العضلة، كما نوقش فى وقت لاحق من هذا الفصل.
- تختلف التشنجات مع درجة حرارة العضلة؛ فالعضلة المُسخنة تنقبض بقوة أكبر لأن الإنزيمات مثل رؤوس الميوسين تع مل بشكل أسرع.
- تختلف قوة التشنج مع حالة ترطيب العضلة، مما يؤثر على المسافة بين الخيوط السميكة والرقيقة وبالتالى على القدرة على تكوين جسور عرضية بين الميوسين والأكتين.
- تختلف قوة التشنج مع تردد التحفيز؛ فالمثيرات التى تصل متقاربة الزمن تنتج تشنجات أقوى من المثيرات التى تصل بفواصل زمنية أطول، كما سنرى قريبًا.

لا ينبغى أن يكون من المفاجئ أن تختلف التشنجات فى القوة. فى الو
اقع، التشنج الفردى ليس قويًا بما يكفى لأداء أى عمل مفيد. يجب أن
تنقبض العضلات بقوة متغيرة لمهام مختلفة، مثل رفع كأس شمبانيا
مقارنة برفع الأثقال فى صالة الألعاب الرياضية.
فى وضعها التشريحى الطبيعى، بالطبع، لا تُحفز العضلات بواسطة الأ
قطاب الكهربائية؛ بل تُحفز بواسطة الأعصاب. باستخدام تحضير عضلة ال
ساق)العضلة ثلاثية الرؤوس(والعصب الوركى فى الضفدع، لنفترض الآن
أننا نحفز العصب بواسطة قطبنا الكهربائى وندع العصب يحفز العضلة.
مرة أخرى، إذا بدأنا بجهد منخفض، لا نحصل على أى استجابة، مثل المنبهات 1
و 2 فى أعلى الشكل 11.14. عند العتبة)المنبه 3(، نحصل على
ارتعاش ضعيف)موضح فى الأسفل(. إذا استمررنا فى زيادة
الجهد، نرى ارتعاشات أقوى، حتى نقطة معينة)المنبهات 4 إلى 7(.
يبدو أن ذلك يتعارض مع ما حصلنا عليه عند تحفيز العضلة مبا
شرة. السبب هو أن الفولتية الأعلى تثير المزيد والمزيد من ألياف الأع
صاب فى العصب الحركى)الصف الأوسط من الشكل(، وبالتالى تح
فز المزيد والمزيد من الوحدات الحركية على الانقباض.
تسمى عملية إشراك المزيد من الوحدات الحركية إعادة التجنيد أو
تجميع وحدات الحركة المتعددة)MMU(.
لا يُرى هذا فقط فى التحفيز الاصطناعى؛ بل هو جزء من الطريقة
التى يتصرف بها الجهاز العصبى طبيعيًا لإنتاج تقلصات عضلية متغير
ة. يتصرف الجهاز العصبى العضلى وفقًا لمبدأ الحجم— حيث يتم تن
شيط وحدات الحركة الأصغر والأقل قوة التى تحتوى على ألياف عص
بية أصغر وأبطأ أولاً. هذا يكون كافيًا للمهام الدقيقة والحركات المكررة
، ولكن إذا كانت هناك حاجة إلى قوة أكبر، يتم تنشيط وحدات الحركة ا
لأكبر التى تحتوى على ألياف عصبية أكبر وأسرع بعد ذلك.
ولكن حتى عندما تظل شدة المنبه)الجهد(ثابتة، يمكن أن تختل
ف قوة التشنج مع تردد المنبه. ينتج التحفيز عالى التردد تشنجات أقو
ى من التحفيز منخفض التردد. فى الشكل 11.15أ، نرى أنه عندما يتم
تحفيز العضلة بتردد منخفض، مثلاً من 5 إلى 10 منبهات فى الثانية،
فإنها تنتج تشنجًا متماثلًا لكل منبه وتتعافى تمامًا بين التشنجات.

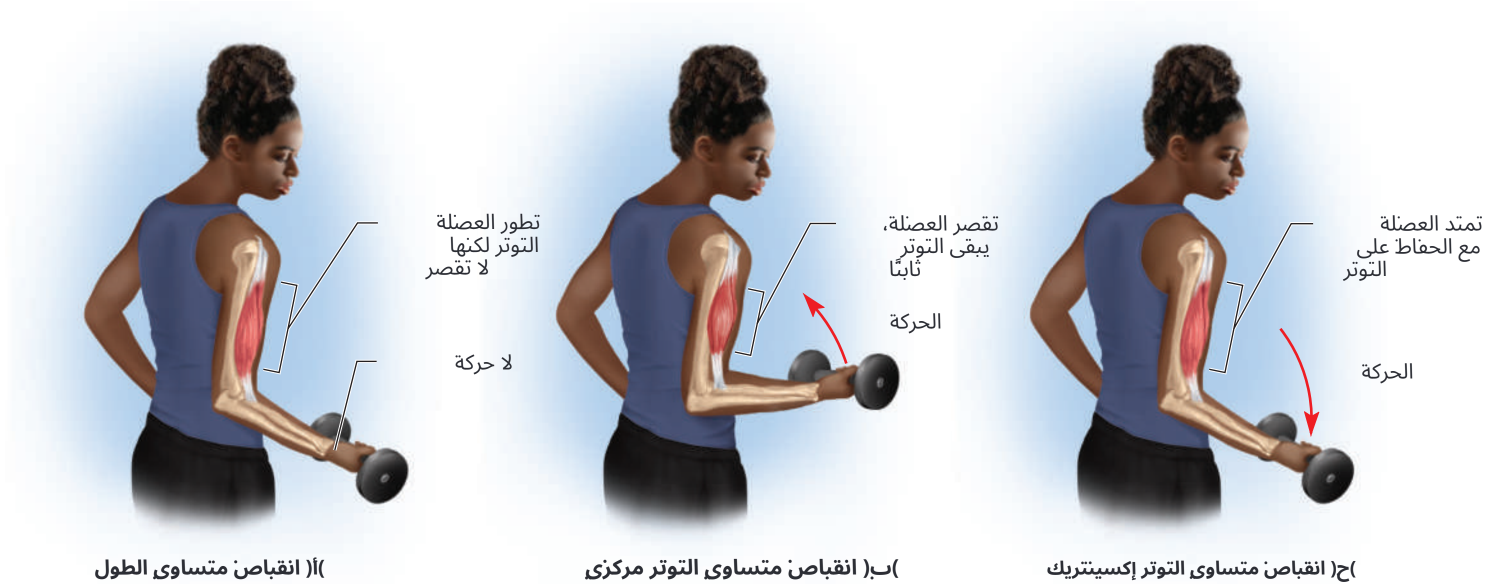
عند ترددات التحفيز الأعلى، مثل 20 إلى 40 محفزًا فى الثانية،
يصل كل محفز جديد قبل انتهاء التشنج السابق. كل تشنج جديد "ير
كب على ظهر" التشنج السابق ويولد توترًا أعلى)الشكل 11.15ب(.
يُعرف هذا الطاهرة باسمين: التجميع الزمنى[10]، لأنها تنتج عن وصول
محفزين متقاربين

---

[10] tempor = الوقت؛ al = متعلق بـ



الشكل 11.15 العلاقة بين تردد المنبه وتوتر العضلة.)أ(التشنج. عند تردد منبه منخفض بشكل غير طبيعى، كما فى التحضيرات المختبرية، تسترخى العضلة تمامًا بين المنبهات وتظهر تشنجات بقوة موحدة.)ب(عند تردد منبه ضمن النطاق الفسيولوجى الطبيعى، لا تمتلك العضلة وقتًا للاسترخاء الكامل بين التشنجات وتتراكم قوة كل تشنج على السابق، مما يخلق حالة التتانوس غير المكتمل. فى هذه الحالة، يمكن للعضلة أن تحقق توترًا أو قوة تعادل ثلاثة إ لى أربعة أضعاف ما ينتجه التشنج الواحد.)ح(عند تردد منبه مرتفع بشكل غير طبيعى، يتحقق فقط فى التحضيرات المختبرية، لا تستطيع العضلة الاسترخاء ع لى الإطلاق بين التشنجات، وتتحد التشنجات لتشكل حالة التتانوس الكامل.



الشكل 11.16 الانقباض المتساوى الطول والمتساوى التوتر.)أ(الانقباض المتساوى الطول، حيث تطور العضلة توترًا لكنها لا تقصر.)ب(الانقباض المتساوى التوتر المركز، حيث يقصر العضلة مع الحفاظ على درجة ثابتة من التوتر.)ح(الانقباض المتساوى التوتر اللامركزى، حيث تحافظ العضلة على التوتر أثناء استطالتها، مما يسمح للعضلة بالاسترخاء دون أن تصبح مرتخية فجأة.

اذكر عضلة تخضع لانقباض إكسنترك عند جلوسك على كرسى.

نفس الطول أو حتى يصبح أطول. لذلك، يتحدث علماء الفسيولوجيا

أنواع مختلفة من انقباض العضلات مثل الانقباض الثابت)*Isometric*(مقابل الانقباض المتحرك)*Isotonic*(و ***الانق***

باض المركز)Concentric(مقابل الانقباض اللامركزى)Eccentric( )الشكل 11.16(.

افترض أنك ترفع دمبل ثقيل. عندما تقوم أولاً بانقباض عضلات ذراعك، يمكنك أن تشعر بالتوتر يتصاعد فى

11.5ح الانقباض المتساوى القياس والانقباض المتساوى التوتر

فى فسيولوجيا العضلات، لا تعنى كلمة "انقباض" دائمًا تقليص العضلة - قد يعنى فقط أن العضلة تقوم بـ يُنتج توتراً داخلياً بينما يُجبره مقاومة خارجية على البقاء

الانقباض المركز عند رفع الدمبل والانقباض اللامركزي عند خفضه. ع ندما يصاب رافعو الأثقال بإصابات عضلية، يكون ذلك عادةً خلال المر حلة اللامركزية، لأن الساركوميرات والأنسجة الضامة في العضلة تسح ب في اتجاه واحد بينما الوزن يسحب العضلة في الاتجاه المعاكس.

باختصار، أثناء الانقباض المتساوي الطول، تطور العضلة توتراً دو ن تغيير في الطول، وأثناء الانقباض متساوي التوتر، يتغير طول الع ضلة مع الحفاظ على توتر ثابت. في الانقباض المركز، تحافظ العضلة على التوتر أثناء قصرها، وفي الانقباض اللامركزي، تحافظ على التوتر أ ثناء طولها.

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

16. اذكر ثلاثة أسباب أو أكثر لسبب اختلاف قوة انقباض العضلة ح تى عندما تظل شدة المنبه ثابتة.

17. اشرح دور التتانوس في عمل العضلة الطبيعي.

18. صف نشاطًا يوميًا لا يشمل الذراعين حيث تتحول عضلاتك م ن الانقباض الإيزومتري إلى الانقباض الإيزوتوني.

19. صف نشاطًا يوميًا لا يشمل الذراعين يتضمن انقباضًا مركزيًا وآخر يتضمن انقباضًا إكسانتريكيًا.

تمثيل الأيض العضلي 11.6

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

a. اشرح كيف تلبي العضلات الهيكلية احتياجاتها من الطاقة أثناء ا لراحة والتمرين؛

ب. اشرح أساس التعب العضلي والألم؛

ج. ناقش سبب الحاجة إلى الأكسجين الإضافي حتى بعد ان تهاء التمرين؛

د. ميز بين نوعين فسيولوجيين من ألياف العضلات، وشرح أدواره ا الوظيفية؛

هـ. ناقش العوامل التي تؤثر على قوة العضلات؛ و

و. ناقش تأثيرات تمارين المقاومة والتحمل على العضلات.

11.6a مصادر ATP

تعتمد جميع انقباضات العضلات على ATP؛ لا يمكن لأي مصدر طاقة آخر أن يحل محله. يعتمد توفر ATP بدوره على توفر الأكسجين والوقو د العضوي مثل الجلوكوز والأحماض الدهنية. لفهم كيفية إدارة العضلة لميزانية ATP الخاصة بها، يجب أن تكون على دراية بالطريقتين الرئي سيتين لتخليق ATP: *التخمر اللاهوائي* و *التنفس الهوائي*)انظر الشكل 2.31).

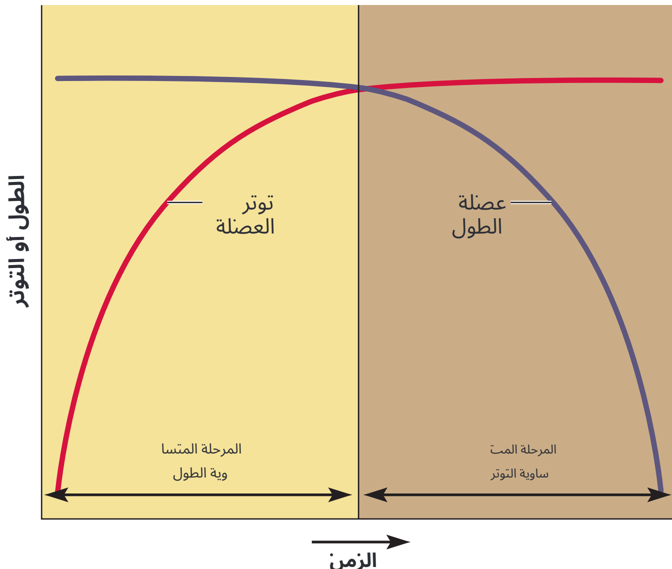
لكل منهما مزايا وعيوب. يتيح التخمر اللاهوائي للخلية إنتاج ATP دون الحاجة إلى الأكسجين، لكن عائد ATP محدود جدًا وتنتج العملية

رك الدمبل بعد. في هذه المرحلة، تتقلص عضلاتك على المستوى الخلوي، ل كن توترها يمتص بواسطة المكونات المرنة ويقاومه وزن الحمل؛ العضلة ككل لا تقصر ولا تنتج أي حركة خارجية. تُسمى هذه المرحلة الانقباض الإيزومتري[11] — الانقباض بدون تغيير في الطول)الشكل 11.16أ(. يحدث هذا في بداية أي انقباض عضلي، لكنه يمتد أثناء رفع الأثقال. ومع ذلك، فهو ليس مجرد تمهيد للحركة. الانقباض الإيزومتري للعضلات المتضادة عند مفصل واحد مه م للحفاظ على ثبات المفصل أثناء الراحة، والانقباض الإيزومتري لعضلات الو ضعية هو ما يمنعنا من الانهيار على الأرض. الانقباض الإيزوتوني[12]

الانقباض— الانقباض مع تغير في الطول ولكن بدون تغير في التوتر — يبدأ عندما يتراكم التوتر الداخلي إلى النقطة التي يتغلب فيها على المقاومة. الآن يقصر العضلة، ويحرك الحمل، ويحافظ على نفس التوتر بشكل أساسي من تلك اللحظة فصاعدًا)الشكل 11.16ب(. الانقباض المتساوي الطول والانقباض المتساوي التوتر هما مرحلتان من الفعل العضلي الطبيعي)الشكل 11.17(.

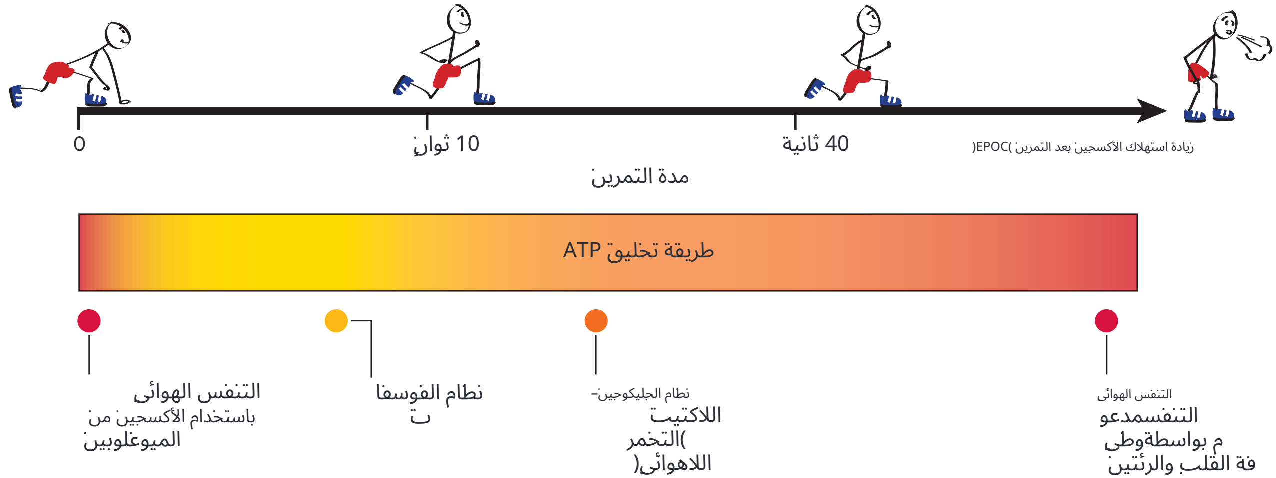
هناك نوعان من الانقباضات متساوية التوتر: الانقباض المركز والانقباض ا للامركزي.في الانقباض المركز، يقصر العضلة بينما تحافظ على التوتر — على سبيل المثال، عندما ينقبض العضد)عضلة العضد ذات الرأسين(ويثني الكوع. في الانقباض اللامركزي، تطول العضلة بينما تحافظ على التوتر. إذا وضعت الدمبل مرة أخرى)الشكل 11.16ج(، فإن عضلة العضد ذا ت الرأسين تطول أثناء فرد الكوع، لكنها تحافظ على التوتر لتعمل كفرا مل وتمنعك من إسقاط الوزن ببساطة. يستخدم رافع الأثقال

[11] *إيزو* = نفس الشيء، موحد؛ *متر* = الطول؛ *-يك* = متعلق بـ
[12] *إيزو* = نفس الشيء، موحد؛ *تون* = التوتر؛ *-يك* = متعلق بـ



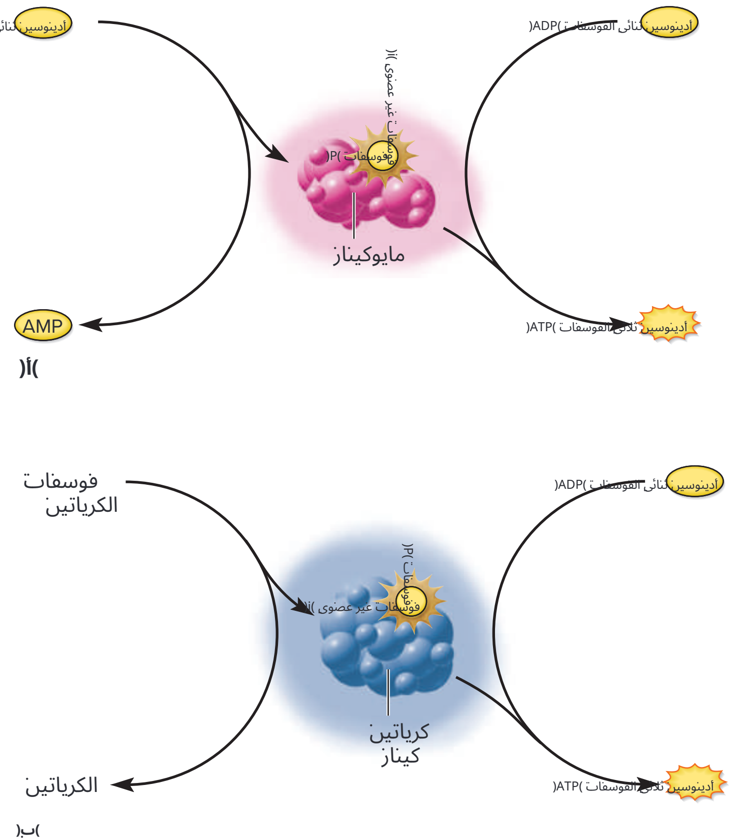
الشكل 11.17 المراحل المتساوية التوتر والمتساوية الطول للانقباض. في بداية الانقباض)المرحلة المتساوية التوتر(، يرتفع توتر العضلة لكن الطول يبقى ثابتًا)العضلة لا تقصر(. عندما يتغلب التوتر على مقاومة الحمل، يستقر التوتر وتبدأ العضلة في ا لقصر وتحريك الحمل)المرحلة المتساوية الطول(.

كيف يمكنك تمديد هذا الرسم البياني لإظهار الانقباض اللامركزي؟



السكل 11.18 طرق تخليق ATP أثناء التمرين.

قليل جدًا، لكن كمية CP تنخفض بسرعة. الإمداد الكلى من ATP + C
P يكفى لتوفير الطاقة لحوالى دقيقة واحدة من المش
ى السريع أو 6 ثوانٍ من الركض السريع أو السباحة السريعة. نظام الفو
سفات مهم بشكل خاص فى الأنشطة التى تتطلب دفعات قصيرة م
ن الجهد الأقصى، مثل كرة القدم، البيسبول، ورفع الأثقال.



الشكل 11.19 نظام الفوسفات.)أ(ميوكيناز، الذى
يحصل على الفوسفات من ADP.)ب(كرياتين كيناز، الذى يحصل
على الفوسفات من فوسفات الكرياتين.

منتج سام ثانوى، اللاكتات)حمض اللاكتيك(، الذى يجب إزالته من الع
ضلة والتخلص منه عن طريق الكبد. بالمقابل، ينتج التنفس الهوائى كم
ية أكبر بكثير من ATP ولا ينتج لاكتات، لكنه يتطلب إمدادًا مستمرًا بالأ
كسجين. على الرغم من أن التنفس الهوائى معروف بشكل أساسى كم
سار لأكسدة الجلوكوز، إلا أنه يُستخدم أيضًا لاستخلاص الطاقة من مرك
بات عضوية أخرى. فى العضلة فى حالة الراحة، يتم توليد معظم ATP م
ن خلال التنفس الهوائى للأحماض الدهنية.
خلال فترة التمرين، تُستخدم آليات مختلفة لتخليق ATP اعتمادًا
على مدة التمرين. سنظر إلى هذه الآليات من منظور الطاقة الفورية،
قصيرة الأمد، وطويلة الأمد، لكن العضلة لا تقوم بتحولات مفاجئة من
آلية إلى أخرى مثل ناقل حركة السيارة الذى يغير التروس.

بل، تمتزج وتتداخل هذه الآليات مع استمرار التمرين)الشكل 11.18(
.

الطاقة الفورية

فى تمرين قصير وشديد مثل سباق 100 متر، يوفر الميوغلوبين فى ل
يف العضلة الأكسجين لكمية محدودة من التنفس الهوائى فى البداية،
لكن يتم استنفاد هذا الإمداد من الأكسجين بسرعة.
حتى تلحق أجهزة التنفس والدورة الدموية بالزيادة فى طلب الأكسجي
ن، يلبى العضل معظم احتياجاته من ATP عن طريق استعارة مجموعا
ت الفوسفات)iP(من جزيئات أخرى ونقلها إلى ADP. يتحكم نظامان
إنزيميان فى هذه التحويلات الفوسفاتية)الشكل 11.19(:

1. مايوكيناز)MY-oh-KY-nase(ينقل iP من ADP إلى آخر، مح
ولًا الأخير إلى ATP يمكن للمايوسين استخدامه.
2. كرياتين كيناز)CREE-uh-tin KY-nase(يحصل على iP من
جزىء تخزين الفوسفات، فوسفات الكرياتين)CP(، ويتبرع به إ
لى ADP لصنع ATP. هذا نظام سريع الفعل يساعد فى الحفا
ظ على مستوى ATP أثناء تنشيط آليات توليد ATP الأخرى.

ATP وCP، واللذان يُطلق عليهما معًا نظام الفوسفاتاجين، يوفرا
ن تقريبًا كل الطاقة المستخدمة فى فترات النشاط المكثف القصيرة.
يحتوى العضل على حوالى 5 مليمولات من ATP و15 مليمول من C
P لكل كيلوغرام من النسيج. ومن المدهش ربما، أنه فى
بداية التمرين المكثف، يتغير مقدار ATP فى ألياف العضلات

فى التمارين طويلة المدة ولكن منخفضة الشدة، قد ينتج الإرهاق جزئيًا عن الأسباب السابقة، لكنه يرجع بشكل رئيسى إلى ما يلى:

- نفاد الوقود. انخفاض مستويات جليكوجين العضلات والجلوكوز فى الدم يترك وقودًا أقل لتخليق ATP. العداؤون وراكبو الدراجات لمسافات طويلة يطلقون على هذا "ضرب الجدار"، وغالبًا ما يحاولون تأخير الإرهاق من خلال اتباع حميات عالية الكربوهيدرات قبل السباق، لتحميل العضلات بجليكوجين إضافى.
- فقدان الإلكتروليتات. فقدان الإلكتروليتات عبر التعرق يمكن أن يغير توازن الأيونات فى السائل خارج الخلية بما يكفى لتقليل استثارة العضلات.
- الإرهاق المركزى. العضلات أثناء التمرين تولد الأمونيا، التى يمتصها الدماغ وتثبط الخلايا العصبية الحركية فى المخ. لهذا السبب وأسباب أخرى لم تُفهم جيدًا بعد، ينتج الجهاز العصبى المركزى إشارات أقل إلى العضلات الهيكلية. هنا تلعب العوامل النفسية دورًا، مثل الإرادة لإكمال الماراثون.

بعض الفرضيات السابقة حول إرهاق العضلات تم دحضها بواسطة أبحاث أحدث. لم يعد يُعتقد أن نفاد ATP بحد ذاته يسبب الإرهاق ؛ فمستوى ATP فى العضلات المتعبة يكاد يكون مساويًا لمستواه فى العضلات المستريحة. كما كان يُعتقد لفترة طويلة أن اللاكتات الناتجة عن التخمر اللاهوائى تساهم فى الإرهاق عن طريق خفض الرقم الهيدروجينى فى ليف العضلة، مما يغير أشكال البروتينات الانقباضية والتنظيمية. لكن الأدلة أظهرت الآن أن اللاكتات يُزال إلى الكبد بسرعة تقارب سرعة إنتاج العضلات له، لذا لا يتراكم فى نسيج العضلات وربما له تأثير ضئيل أو لا علاقة له بالإرهاق.

تُحدد القدرة على الحفاظ على التمرين عالى الشدة لأكثر من ٤ أو ٥ دقائق إلى حد كبير بواسطة أقصى استهلاك للأكسجين)VO_2max — النقطة التى يصل عندها معدل استهلاك الأكسجين إلى مستوى ثابت ولا يزيد أكثر مع زيادة الحمل البدنى. يتناسب VO_2max مع حجم الجسم؛ ويبلغ ذروته حوالى سن العشرين؛ وعادةً ما يكون أكبر عند الذكور مقارنة بالإناث؛ ويمكن أن يكون ضعف ذلك عند الرياضيين المدربين على التحمل مقارنة بالأشخاص غير المدربين.
يستخدم البالغ الخامل النموذجى حوالى 35 ملليلترًا من الأكسجين فى الدقيقة لكل كيلوغرام من وزن الجسم كحد أقصى. لذلك، فإن شخصًا يزن 73 كجم)160 رطل(ويمارس التمارين بأقصى شدة يمكنه "حرق" الأكسجين بمعدل حوالى 2.6 لتر/دقيقة، مما يحدد حدًا لمعدل إنتاج ATP. يمكن للرياضيين النخبة فى التحمل أن يكون لديهم Vo_2max حوالى 70 مل/دقيقة/كجم)5.2 لتر/دقيقة لنفس وزن الجسم(.

11.6ح استهلاك الأكسجين الزائد بعد التمرين

ربما لاحظت أنك تتنفس بعمق ليس فقط أثناء التمرين الشاق ولكن أيضًا لعدة دقائق بعده)الشكل 11.18(. هذا لتلبية طلب أيضى يُسمى استهلاك الأكسجين الزائد بعد التمرين)EPOC(، المعروف أيضًا بمصطلح قديم شائع، دين الأكسجين. EPOC هو الفرق بين معدل استهلاك الأكسجين المرتفع فى نهاية التمرين والمعدل الطبيعى أثناء الراحة. يحدث ذلك جزئيًا لأن الأكسجين مطلوب لتجديد ATP بطريقة هوائية، ويُستخدم هذا ATP جزئيًا لتجديد فوسفات الكرياتين. كمية صغيرة من الأكسجين تخدم لإعادة تأكسج الميوغلوبين العضلى، ويستهلك الكبد الأكسجين فى التخلص من اللاكتات الناتجة عن التمرين.

الطاقة قصيرة الأمد

مع استنفاد نظام الفوسفات، تنتقل العضلات إلى التخمر اللاهوائى لتوليد ATP عن طريق تحلل الجلوكوز. النقطة التى يحدث عندها هذا تسمى العتبة اللاهوائية، أو أحيانًا عتبة اللاكتات لأن هناك يمكن البدء فى ملاحظة ارتفاع مستويات اللاكتات فى الدم فى هذا الوقت.)يمكن للرياضيين أثناء التدريب اكتشاف ذلك باستخدام جهاز محمول يقيس اللاكتات فى قطرة دم واحدة من وخزة إبرة.(خلال المرحلة اللاهوائية، تحصل العضلات على الجلوكوز من الدم ومن الجليكوجين المخزن لديها وتستقلبه إلى لاكتات. كما رأينا سابقًا)انظر الشكل 2.31(، هذا المسار، نظام الجليكوجين-اللاكتات، يولد صافى إنتاج 2 ATP لكل جلوكوز مستهلك.)*التخمر اللاهوائى* هو خطوته النهائية، تحويل البيروفات إلى لاكتات.(يمكنه إنتاج كمية كافية من ATP لمدة 30 إلى 40 ثانية من النشاط الأقصى. اللعب كرة السلة أو الجرى حول ملعب البيسبول بالكامل، على سبيل المثال، يعتمد بشكل كبير على هذا النظام لنقل الطاقة.

الطاقة طويلة الأمد

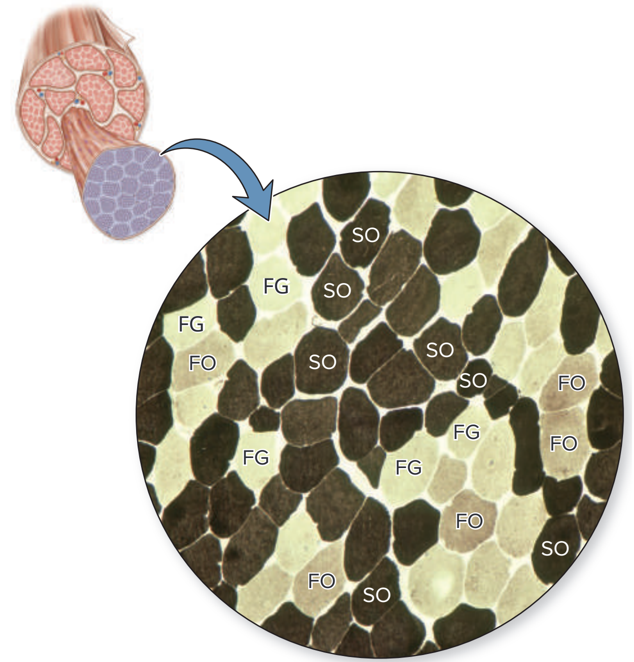
بعد حوالى 40 ثانية، تقوم أجهزة التنفس والدورة الدموية بـ"اللحاق بالركب" وتوصيل الأكسجين إلى العضلات بسرعة كافية لتمكين التنفس الهوائى من تلبية معظم طلب ATP مرة أخرى. التنفس الهوائى ينتج كمية أكبر بكثير من ATP مقارنة بالتحلل السكرى—عادة حوالى 30 ATP إضافية لكل جلوكوز. لذلك فهو وسيلة فعالة جدًا لتلبية احتياجات ATP أثناء التمارين المطولة.
معدل استهلاك الأكسجين يرتفع لمدة 3 إلى 4 دقائق ثم يستقر عند حالة *ثابتة* حيث ينتج ATP الهوائى بمعدل يتناسب مع الطلب. فى التمارين التى تستمر أكثر من 10 دقائق، يتم إنتاج أكثر من 90% من ATP بشكل هوائى. ولمدة تصل إلى 30 دقيقة، تأتى الطاقة بشكل متساوٍ تقريبًا من الجلوكوز والأحماض الدهنية؛ ثم، مع استنفاد الجلوكوز والجليكوجين، تصبح الأحماض الدهنية الوقود الأكثر أهمية.

11.6b التعب والقدرة على التحمل

إرهاق العضلات هو الضعف التدريجى وفقدان القدرة على الانقباض الناتج عن الاستخدام المطول للعضلات. على سبيل المثال، إذا حملت كتابًا ثقيلًا بمد ذراعك لمدة دقيقة، ستشعر بضعف عضلاتك وسرعان ما لن تتمكن من رفعه. الضغط المتكرر على كرة مطاطية، أو الضغط على زر لعبة فيديو، أو محاولة تدوين ملاحظات من أستاذ يتحدث بسرعة يسبب إرهاقًا فى عضلات اليد. فى التمارين عالية الشدة وقصيرة المدة، يُعتقد أن الإرهاق ينتج عن العوامل التالية:

- تراكم البوتاسيوم. كل جهد فعل يطلق K^+ من الساركوبلازم إلى السائل خارج الخلية. هذا يخفض جهد الغشاء)يُفرط استقطاب الخلية(ويجعل ليف العضلة أقل استثارة. هذا مهم بشكل خاص فى الأنابيب T، حيث يسمح الحجم المنخفض للسائل خارج الخلية بارتفاع تركيز K^+ إلى مستوى عالٍ ويتداخل مع إطلاق الكالسيوم من الشبكة الساركوبلازمية.

- تراكم ADP/P_i. تحلل ATP يولد تجمعًا متزايدًا من ADP + P_i. يبطئ ADP آلية دورة الجسور العرضية للانقباض. الفوسفات الحر)P_i(يثبط إطلاق الكالسيوم من الشبكة الساركوبلازمية، وحساسية الكالسيوم لآلية الانقباض، وإنتاج القوة بواسطة الميوفيبريل. يُعتقد الآن أنه مساهم رئيسى فى إرهاق العضلات.



الشكل 11.20 أنواع ألياف العضلات الهيكلية.)FG، ألياف جليكوليتية سريعة؛ SO، ألياف أكسدة بطيئة؛ FO، ألياف أكسدة سريعة(

G W Willis/Getty Images

المقاومة، لذا فهى مهمة بشكل خاص فى العضلات التى تدعم الجسم وتحافظ على الوضعية، مثل عضلات الباسطة للعمود الفقرى وعضلة المربعة القطنية فى الظهر. تنبع مقاومة التعب لديهم من *وضعية الأ كسدة* لإنتاج ATP — أى التنفس الهوائى. يتطلب الأيض التأكسدى، بالطبع، توفيرًا واسعًا للأكسجين ووسائل لاستخدامه بكفاءة. لذلك، تح اط هذه الألياف بشبكة كثيفة من الشعيرات الدموية، وهى غنية بالمى توكندريا، ولديها تركيز عالٍ من الميوغلوبين، الصبغة الحمراء التى تسه ل انتشار الأكسجين من الدم إلى ليف العضلة. كما أن ألياف الانقباض البطىء رقيقة نسبيًا، مما يقلل المسافة التى يجب أن ينتشر عبرها ا لأكسجين حتى يصل إلى أعمق الميتوكندريا. يرجع بطء هذه العضلات إلى الشبكة الساركوبلازمية التى تطلق وتمتص الكالسيوم ببطء نسبى ، وشكل من أشكال إنزيم الميوسين ATPase الذى يتميز ببطء فى تح لل ATP ودورة الجسور العرضية. التركيز العالى للميوغلوبين فى هذه ا لألياف يمنحها لونًا أحمر فاتحًا نسبيًا، لذا تُسمى أيضًا الألياف الحمراء .

الألياف سريعة الانقباض تُسمى أيضًا الألياف الجليكوليتية السر يعة)FG(أو الألياف من النوع الثانى. إنها مُتكيفة جيدًا للاستجابات ال سريعة، لذا فهى مهمة بشكل خاص فى عضلات العين واليد المذكورة أعلاه، وفى العضلات الكبيرة مثل عضلة الساق)العضلة ثلاثية الرؤو س الساقية(وعضلة العضد ذات الرأسين، التى نستخدمها فى حركا ت مثل القفز وثنى المرفق. تنبع سرعتها من وجود شبكة ساركو بلازم ية واسعة بشكل خاص مع إطلاق وامتصاص سريع للكالسيوم، وشكل من الميوسين يتميز بتحلل سريع جدًا لـ ATP ودورة جسر عرضى سر يعة. للحصول على الطاقة، تعتمد بشكل أساسى على التحلل السكرى والتخمر اللاهوائى، الذى ينتج ATP بسرعة أكبر)ولكن بكفاءة أقل(من التنفس الهوائى. لدعم ذلك، تحتوى على تركيز عالٍ من الجليكوجين. كما تحتوى على تركيز عالٍ من فوسفات الكرياتين، والذى، ستجد

بالإضافة إلى ذلك، يرفع التمرين درجة حرارة الجسم ومعدل الأيض ال كلى، مما يستهلك المزيد من الأكسجين بحد ذاته.

يتم تجديد ATP وCP فى الدقائق الأولى من التنفس العميق بعد التمرين، ويظل استهلاك الأكسجين مرتفعًا لمدة تصل إلى ساعة أخر ى بينما يستخدمه الكبد لأكسدة اللاكتات.
يمكن أن يكون EPOC بمقدار ستة أضعاف استهلاك الأكسجين الأسا سى للفرد، مما يشير إلى أن الآليات اللاهوائية لإنتاج ATP أثناء التمر ين تسمح بمجهود بدنى ستة أضعاف ما كان ممكنًا بدون تلك الآليات .

11.6د الفئات الفسيولوجية لأليا ف العضلات

ليست كل ألياف العضلات متشابهة أو مهيأة لنفس المهام. على س بيل المثال، العضلات الحاملة للوزن والعضلات الوضعية فى الظهر وا لأطراف السفلية تستجيب ببطء للتحفيز وتستغرق حتى 100 مللى ثانية للوصول إلى ذروة التوتر. بالمقابل، العضلات التى تتحكم فى حر كات العين واليد تستجيب بسرعة للتحفيز وتصل إلى ذروة التوتر فى أ قل من 7.5 مللى ثانية. لذلك، تُسمى الألياف السائدة التى تشكل هذه العضلات ألياف "البطء الانقباضى" و"السرعة الانقباضية" على التوال ى. يمكننا إيجاد أسباب اختلاف أوقات استجابتهم من خلال النظر إلى تركيبهم الخلوى والكيمياء الحيوية)الجدول 11.2(. يمكن تحديد أنواع ا لألياف المختلفة فى مقاطع الأنسجة باستخدام تلوين كيميائى خاص (الشكل 11.20(.
الألياف ذات الانقباض البطىء تُسمى أيضًا الأكسدة البطيئة)SO(أو الألياف من النوع الأول. وهى مناسبة جيدًا للقدرة على التحمل ومقاومة التعب

الجدول 11.2 **تصنيف ألياف العضلات الهيكلية**

نوع الألياف		
انقباض سريع)تحلل جليكوليتى سريع(	**انقباض بطىء)أكسدة بطيئة(**	**الخاصية**
قصيرة تصل إلى 7.5 مللى ثانية	طويلة تصل إلى 100 مللى ثانية	مدة الانقباض
أكبر	أصغر	حجم وحدة الحركة
أكبر، أقل استثارة	أصغر، أكثر استثارة	الخلايا العصبية الحركية
أقوى	أضعف	قوة الوحدة الحركية
أكبر	أصغر	القطر النسبى
لاهوائى	التنفس الهوائى	تخليق ATP
ضعيف	جيد	مقاومة التعب
سريع	بطىء	تحلل ATP
سريع	متوسط	التحلل السكرى
منخفض	وفير	محتوى الميوغلوبين
وفير	منخفض	محتوى الجليكوجين
أقل وأصغر	وفير وكبير	الميتوكوندريا
أقل	وفير	الشعيرات الدموية
أبيض، أفتح	أحمر أكثر	اللون
عضلة الساق الخلفية)العضلة ذات الرأسين الساقية(ع صلة ذات الرأسين العضدية ع ضلات حركة العين	عضلة السوليوس عضلة الباسطة للعمود الفقرى العضلة المربعة القطنية	**العضلات التمثيلية التى نوع الألياف سائد فيها**

مألوف بهذا التمييز. الفخذان عبارة عن لحم داكن يتكون من ألياف S
O مهيأة لفترات طويلة من الوقوف، والصدر هو لحم أبي
ض يتكون من ألياف FG مهيأة لانفجارات قصيرة من القوة عندما تق
لع الطيور. ومع ذلك، صدر البط هو لحم داكن)عضلة حمراء(مهيأ للط
يران لمسافات طويلة، لأنه على عكس الدجاج والديك الرومى، فإن ال
بط المحلى ينحدر من أسلاف مهاجرة.
رأينا فى الفصل العاشر أن هناك أحيانًا عضلتين أو أكثر تعملان ع
بر نفس المفصل ويبدو أن لهما نفس الوظيفة. لقد رأينا بالفعل بعض
الأسباب التى تجعل هذه العضلات ليست زائدة كما تبدو. سبب آخر
هو أنها قد تختلف فى نسبة ألياف SO إلى FG. على سبيل المثال، ع
ضلتا الساق الغاستروكنيميوس والسوليوس كلاهما تلتصقان بعظم ا
لعقب)الكعب(، لذا فإنهما تمارسان نفس السحب على الكعب. ومع
ذلك، فإن الغاستروكنيميوس هو عضلة بيضاء، يغلب عليها ألياف FG
، ومتأقلمة للحركات السريعة والقوية مثل القفز، فى حين أن السوليو
س هو عضلة حمراء، من نوع SO، تقوم بمعظم العمل أثناء الوقوف و
فى تمارين التحمل مثل الجرى والتزلج.

11.6e القوة العضلية والتدريب

لدينا قوة عضلية أكبر بكثير مما نستخدمه عادة. يمكن لعضلة الألوية ا
لكبرى أن تولد توتراً يصل إلى 1200 كجم، وجميع العضلات مجتمعة
يمكن أن تنتج توتراً إجمالياً يبلغ 22000 كجم)ما يقرب من 25 طنًا(.
فى الواقع، يمكن للعضلات توليد توتر أكبر مما يمكن للعظام والأوتار
تحمله — وهو أمر يفسر العديد من الإصابات فى أوتار الرضفة والكع
ب. تعتمد القوة العضلية على مجموعة متنوعة من العوامل التشريحي
ة والفسيولوجية:

- حجم العضلة.تعتمد قوة العضلة بشكل أساسى على حجمها؛ فالعضلات السميكة يمكنها تكوين المزيد من جسور الميو سين-أكتين وبالتالى توليد توتر أكبر. يمكن للعضلة أن تمارس تو تراً يبلغ حوالى 3 إلى 4 كجم/سم^{2}من مساحة المقطع العرضى. ولهذا السبب تكون عضلات رافعى الأثقال الأكبر حجمًا أقوى من المتوسط.
- ترتيب الحزم العضلية)انظر الشكل 10.2(. العضلات الريشية م ثل العضلة المستقيمة الفخذية أقوى من العضلات المتوازية م ثل العضلة الخياطية، والتى بدورها أقوى من العضلات الدا ئرية مثل العضلة المحيطة بالعين.
- حجم وحدات الحركة النشطة.تنتج وحدات الحركة الكبيرة ا نقباضات أقوى من الوحدات الصغيرة.
- تجميع وحدات الحركة المتعددة.عندما يُرغب فى انقباض عض لى أقوى، يقوم الجهاز العصبى بتنشيط المزيد من وحدات ا لحركة الأكبر. الاستعداد النفسى للمنافسة الرياضية هو جزئ يًا مسألة تجميع وحدات الحركة المتعددة)MMU(.
- التجميع الزمنى.عادةً ما تصل النبضات العصبية إلى العضلة فى سلسلة من الإمكانات الفعلية المتقاربة زمنياً. بسبب التجميع الزمنى الموصوف سابقًا، كلما زادت وتيرة ال تحفيز، كان الانقباض العضلى أقوى.
- علاقة الطول بالتوتر.كما ذُكر سابقًا، العضلة التى تستريح عند طول مثالى تكون مستعدة للانقباض بقوة أكبر من الع ضلة التى تكون منقبضة أو ممدودة بشكل مفرط. ويتأثر هذا بو ضعية الجسم، مثل انحناءة العداء قبل بدء الجهد العضلى.

فى تجديد ATP بسرعة. لديهم عدد أقل من الميتوكوندريا مقارنة بالألياف الب
طيئة الانقباض. الألياف السريعة الانقباض أكثر سمكًا من الألياف البطيئة، لأ
ن الألياف السميكة أقوى ولا تحتاج إلى توصيل الأكسجين بسرعة خاصة إلى أ
عمق أجزاء السيتوبلازم. أيضًا، بدون الحاجة إلى امتصاص الأكسجين بهذه ال
سرعة، تحتوى على كمية أقل من الميوغلوبين. لهذا السبب، تكون الألياف ال
سريعة الانقباض شاحبة نسبيًا وتسمى الألياف البيضاء. لكن الثمن الذى يُدفع
مقابل هذه الآليات السريعة الانقباض وإنتاج ATP اللاهوائى هو أن هذه الأليا
ف تتعب بسهولة أكبر، كما قد تعرف من تشنج الكاتب أو عند أداء تمارين الع
ضلة ذات الرأسين السريعة.

يعترف بعض الخبراء بنوعين فرعيين من ألياف FG يُطلق عليهما
النوعان IIA و IIB. النوع IIB هو النوع الشائع الذى تم وصفه للتو،
بينما النوع IIA)الألياف المتوسطة أو الألياف السريعة التأكسدية [FO](تجمع بين
الاستجابات السريعة مع الأيض الهوائى المقاوم للإرهاق.
ومع ذلك، تُعرف ألياف النوع IIA بشكل رئيسى من أنواع أخرى من ال
ثدييات وهى نادرة نسبيًا فى البشر باستثناء بعض الرياضيين المدربي
ن على التحمل.
تتكون جميع العضلات تقريبًا من ألياف SO وFG معًا، ولكن عادةً
ما يسود نوع واحد أو الآخر حسب وظائف تلك العضلة—الحركة السر
يعة والمنعكسات، أو التوتر المستمر لحمل الوزن. يختلف الأشخاص ا
لذين يمارسون أنشطة بدنية مختلفة فى نسبة نوع الألياف الواحد إلى ا
لآخر حتى فى نفس العضلة، مثل عضلة الفخذ الرباعية فى الفخذ الأ
مامى)الجدول 11.3(. يُعتقد أن الأشخاص يولدون مع استعداد جينى
ى لنسبة معينة من أنواع الألياف.

الذين يدخلون فى الرياضات التنافسية يكتشفون الرياضات التى يمك
نهم التفوق فيها وينجذبون نحو تلك التى زودتهم الوراثة بأفضل استع
داد لها. قد يكون شخص ما "عداءً سريعًا مولودًا" وآخر "عداء ماراثون
مولودًا".
فى البشر، تتكون الوحدات الحركية الصغيرة من ألياف عضلية بطيئة الا
نقباض)SO(صغيرة نسبيًا وتُزود بواسطة خلايا عصبية حركية صغيرة ولكنها
سهلة الإثارة. هذه الوحدات الحركية ليست قوية مثل الوحدات الكبيرة لكنها
تنتج حركات أكثر دقة. تتكون الوحدات الحركية الكبيرة من ألياف سريعة الان
قباض)FG(أكبر حجمًا؛ وتُزود بواسطة خلايا عصبية أكبر وأقل إثارة؛ وتنتج قو
ة أكبر ولكن تحكمًا أدق أقل. فى مبدأ الحجم*size principle* الذى نوقش
سابقًا)القسم 11.5ب(، يقوم الجهاز العصبى بتجنيد وحدات SO الحركية ال
صغيرة أولاً، ثم وحدات FG الحركية الأكبر فقط إذا كانت هناك حاجة إلى قوة
أكبر لمهمة معينة.
العضلات التى تتكون بشكل رئيسى من ألياف SO تُسمى العضلا
ت الحمراء، والتى تتكون بشكل رئيسى من ألياف FG تُسمى *العضلات البيضاء* بسبب اختلاف اللون الناتج عن اختلاف محتواها من الميوغلوبي
ن. أى شخص يتناول الدجاج أو الديك الرومى قد يكون دون قصد

الجدول 11.3 **نسبة الألياف البطيئة الأكسدة)SO(والأليا ف السريعة الجليكوليتية)FG(فى ع ضلة الفخذ الرباعية لدى الرياضيين الذ كور**

عينة السكان	SO	FG
عدّاؤو الماراثون	٪٢٨	٪٨١
السباحون	74	26
متوسط الرجال	45	55
العداؤون واللاعبون القافزون	37	63

العضلة القلبية والعضلة الملساء 11.7

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

a. تصف الاختلافات الهيكلية والفسيولوجية بين العضلة القلبية والعضلة الهيكلية؛

ب. تشرح سبب أهمية هذه الاختلافات لوظيفة القلب؛

ج. تصف الاختلافات الهيكلية والفسيولوجية بين العضلة الملساء والعضلة الهيكلية؛ و

د. ترتبط الخصائص الفريدة للعضلة الملساء بمواقعها ووظائفها.

تمتلك العضلة القلبية والعضلة الملساء خصائص هيكلية وفسيولوجية خاصة مشتركة بينهما، لكنها تختلف عن تلك الخاصة بالعضلة الهيكلية)الجدول 11.4(. وترتبط هذه الخصائص بوظائفهما المميزة.

يمكن أن يُطلق على أى من أنواع خلايا العضلات الثلاثة اسم الخلايا العضلية)myocytes(. ويفضل استخدام هذا المصطلح بدلاً من *ألياف العضلات)muscle fiber(* للعضلة الملساء والقلبية لأن هذين النوعين لا يمتلكان الشكل الليفى الطويل لخلايا العضلة الهيكلية. فهما قصيرتان نسبيًا، وعلى النقيض من ألياف العضلة الهيكلية، تحتويان على نواة واحدة أو نواتين فقط. كما تُسمى خلايا العضلة القلبية أيضًا خلايا عضلة القلب)cardiomyocytes(.

العضلة القلبية والعضلة الملساء هما أنسجة عضلية *لا إرادية)involuntary(* لا تخضع عادةً لسيطرتنا الواعية. ولا تتلقى تعصيبًا من الخلايا العصبية الحركية الجسدية، لكن العضلة القلبية وبعض العضلات الملساء تتلقى أعصابًا من الجهاز العصبى الودى والباراسمبثاوى التابع للجهاز العصبى الذاتى)انظر الفصل 15(.

APR 11.7أ العضلة القلبية

تقتصر العضلة القلبية على القلب، حيث تتمثل وظيفتها فى ضخ الدم. وبمعرفة ذلك، يمكننا توقع الخصائص التى يجب أن تمتلكها:)1(يجب أن تنقبض بإيقاع منتظم؛)2(يجب أن تعمل أثناء النوم واليقظة، دون فشل أو حاجة إلى انتباه واعٍ؛)3(يجب أن تكون مقاومة للغاية للإرهاق؛)4(يجب أن تنقبض خلايا عضلة القلب فى حجرة القلب المعينة بشكل متزامن حتى تتمكن الحجرة من طرد الدم بفعالية؛ و)5(يجب أن تستمر كل انقباضة لفترة كافية لطرد الدم. هذه الضرورات الوظيفية هى المفتاح لفهم كيف تختلف العضلة القلبية هيكليًا وفسيولوجيًا عن العضلة الهيكلية)الجدول 11.4(.

العضلة القلبية مخططة مثل العضلة الهيكلية، لكن خلايا عضلة القلب)الخلايا القلبية(أقصر وأكثر سمكًا. تحتوى على نواة واحدة أو نواتين بالقرب من وسط الخلية. كل خلية محاطة بغشاء داخلى)إندوميسيم(، ولكن لا يوجد غشاء محيط)بيرى ميسيم(أو غشاء خارجى)إبى ميسيم(كما هو الحال فى العضلة الهيكلية.

تتشعب خلايا عضلة القلب)الخلايا القلبية(قليلاً بحيث يرتبط كل منها نهاية بنهاية مع عدة خلايا أخرى. تُسمى هذه الاتصالات بين الخلايا بالأقراص المتداخلة)intercalated discs( )تنطق: إن-تور-كليتد(، وتظهر كخطوط داكنة سميكة فى مقاطع الأنسجة المصبوغة. يحتوى القرص المتداخل على وصلات فجوية كهربائية تسمح لكل خلية قلبية بتحفيز جيرانها مباشرة، ووصلات ميكانيكية تمنع خلايا القلب من الانفصال عند انقباض القلب.

- الإرهاق. العضلات المسترخية تنقبض بقوة أكبر من العضلات المتعبة.

كما يعلم مدربو اللياقة البدنية وهواة التمارين، هناك نوعان من التمارين لهما تأثيرات مختلفة على العضلات — تمارين المقاومة وتمارين التحمل. تمارين المقاومة، مثل رفع الأثقال، هى انقباض العضلات ضد حمل يقاوم الحركة. دقائق قليلة من تمارين المقاومة فى كل مرة، عدة مرات فى الأسبوع، تكفى لتحفيز نمو العضلات. ينجم النمو أساسًا عن تضخم الخلايا، وليس عن انقسامها. تقوم ألياف العضلات بتخليق المزيد من الخيوط العضلية)myofilaments(وتنمو الخيوط العضلية)myofibrils(أكثر سمكًا. تنقسم الخيوط العضلية طوليًا عند ما تصل إلى حجم معين، لذا فإن العضلة المدربة جيدًا تحتوى على خيوط عضلية أكثر من العضلة غير المدربة جيدًا. ألياف العضلات نفسها غير قادرة على الانقسام الميتوزى، لكن هناك بعض الأدلة على أنه مع تضخمها قد تنقسم أيضًا طوليًا. لذلك قد ينتج جزء صغير من نمو العضلات عن زيادة فى عدد الألياف، لكن معظم النمو ناتج عن تضخم الألياف الموجودة منذ سن البلوغ.

تمارين التحمل)الهوائية(، مثل الجرى أو السباحة، تحسن مقاومة العضلات للإرهاق من خلال تعزيز توصيل واستخدام الأكسجين. الألياف البطيئة الانقباض، على وجه الخصوص، تنتج المزيد من الميتوكوندريا والجليكوجين وتكتسب كثافة أكبر من الشعيرات الدموية نتيجة للتدريب. كما تحسن تمارين التحمل قوة الهيكل العظمى؛ وتزيد من عدد خلايا الدم الحمراء وقدرة الدم على نقل الأكسجين؛ وتعزز وظيفة الجهاز القلبى الوعائى، والجهاز التنفسى، والجهاز العصبى.

لا يزيد التدريب على التحمل بشكل كبير من قوة العضلات، ولا يحسن التدريب على المقاومة من القدرة على التحمل. يتطلب الأداء الأمثل وصحة الجهاز العضلى الهيكلى التدريب المتقاطع، الذى يدمج عناصر من كلا النوعين. إذا لم تُحافظ العضلات على نشاط كافٍ، فإنها تصبح *غير مدربة* — أضعف وأكثر عرضة للإرهاق.

طبق ما تعرفه

هل نمو عضلات رافع الأثقال ناتج بشكل رئيسى عن التضخم)hypertrophy(أم التكاثر)hyperplasia(؟

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

20. من أى جزيئين يمكن لـ ADP أن يستعير مجموعة فوسفات ليصبح ATP؟ ما هو الإنزيم الذى يحفز كل نقل؟

21. فى فترة طويلة من التمرين المكثف، لماذا ينتج العضلات ATP بطريقة لا هوائية فى البداية ثم تتحول إلى التنفس الهوائى؟

22. اذكر أربعة أسباب لإرهاق العضلات.

23. اذكر ثلاثة أسباب للاستهلاك الزائد للأكسجين بعد التمرين.

24. ما هى خصائص الألياف الجليكوليتية السريعة والألياف التأكسدية البطيئة التى تكيفها لأغراض فسيولوجية مختلفة؟

الجدول 11.4 مقارنة بين العضلات الهيكلية والقلبية والملساء

الميزة	العضلة الهيكلية	العضلة القلبية	العضلة الملساء
الموقع	مرتبطة بالجهاز الهيكلى	القلب	جدران الأحشاء والأوعية الدموية، قزحية العين، العضلة الناهضة لبصيلات الشعر
شكل الخلية	ألياف طويلة خيطية	خلايا قصيرة، متفرعة قليلاً	خلايا مغزلية قصيرة
طول الخلية	100 ميكرومتر–30 سم	50–120 ميكرومتر	30–200 ميكرومتر
عرض الخلية	10–500 ميكرومتر	10–20 ميكرومتر	5–10 ميكرومتر
خطوط عرضية	حاضر	حاضر	غائب
نوى	نوى متعددة، مجاورة لـ الساركوليما	عادة نواة واحدة، بالقرب من منتصف الخلية	نواة واحدة، بالقرب من منتصف الخلية
الأنسجة الضامة	الإندوميسيم، البيريميسيم، الإبيميسيم	الإندوميسيم فقط	الإندوميسيم فقط
الشبكة الساركوبلازمية	وفير	حاضر	قليل
انابيب تى (T tubules)	حاضر، ضيق	حاضر، واسع	غائب
وصلات الفجوة	غائب	حاضر فى الأقراص المتداخلة	حاضر فى العضلات الملساء الأحادية الوحدة
الإيقاع الذاتى	غائب	حاضر	حاضر فى العضلات الملساء الأحادية الوحدة
ارتباط الخيوط الرقيقة	أقراص Z	أقراص Z	الأجسام الكثيفة
البروتينات التنظيمية	تروبوميوسين، تروبونين	تروبوميوسين، تروبونين	كالمودولين، كيناز خفيف السلسلة الميوسين
مصدر Ca^{2+}	الشبكة الساركوبلازمية	الشبكة الساركوبلازمية و السائل خارج الخلوى	فى الغالب السائل خارج الخلوى
مستقبل Ca^{2+}	تروبونين الخيط الرقيق	تروبونين الخيط الرقيق	كالمودولين الخيط السميك
التعصيب والسيطرة	ألياف الحركة الجسدية (طوعية)	الألياف الذاتية (لا إرادية)	الألياف الذاتية (لا إرادية)
هل التحفيز العصبى مطلوب؟	نعم	لا	لا
تأثير التحفيز العصبى	تنشيط فقط	تنشيط أو مثبط	تنشيط أو مثبط
طريقة إصلاح الأنسجة	تجدد محدود، فى الغالب تليف	تجدد محدود، فى الغالب تليف	قدرة جيدة نسبياً على التجدد

لا تظهر عضلة القلب تقلصات سريعة مثل عضلة الهيكل العظمى. بل تحافظ على التوتر لمدة تتراوح بين 200 إلى 250 مللى ثانية، مما يم نح القلب الوقت لطرد الدم.

تستخدم عضلة القلب التنفس الهوائى بشكل شبه حصرى. هى غنية جداً بالمايوغلوبين والجليكوجين، ولديها ميتوكوندريا كبيرة بشكل خاص تشغل حوالى 25% من الخلية، مقارنةً بالميتوكوندريا الأ صغر التى تشغل حوالى 2% من ألياف عضلة الهيكل العظمى. عضلة القلب قابلة للتكيف بشكل كبير فيما يتعلق بالوقود المستخدم، لكنها حساسة جداً لانقطاع إمدادات الأكسجين. وبما أنها تستخدم القليل م ن التخمر اللاهوائى، فإن عضلة القلب مقاومة جداً للإرهاق.

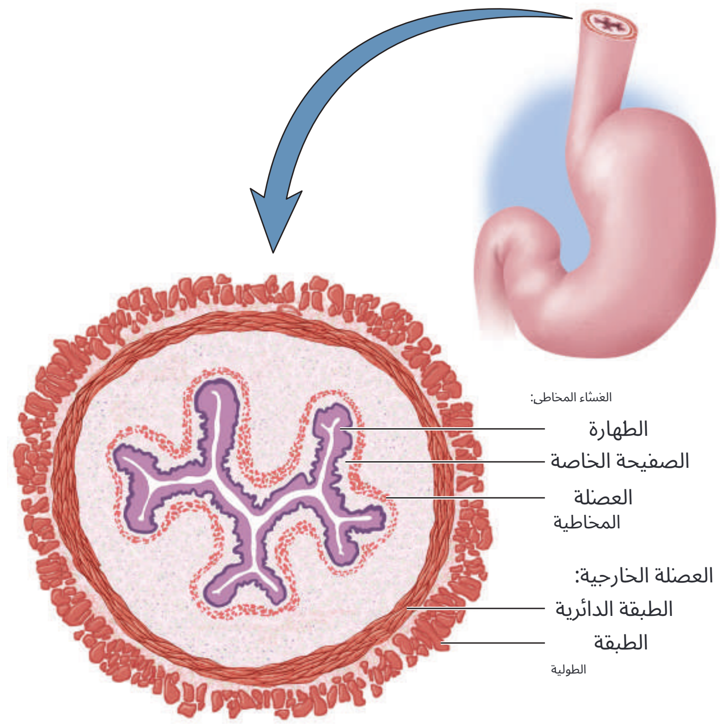
APR 11.7ب العضلة الملساء

تُسمى العضلة الملساء بهذا الاسم لأنها لا تحتوى على خطوط عرضية، وذلك لسبب سيتم شرحه قريباً. خلاياها العضلية صغيرة نسبياً، مما يسمح بتحكم دقيق فى مثل هذه الأنسجة والأعضاء كعضلة واحدة

الشبكة الساركوبلازمية أقل تطوراً مقارنة بعضلة الهيكل العظمى، لكن الأنابيب T أكبر وتسمح بدخول Ca^{2+} من السائل خارج الخلية. يتم إ صلاح عضلة القلب التالفة عن طريق التليف. لا تحتوى على خلايا قمر ية، وعلى الرغم من اكتشاف انقسام محدود فى الخلايا القلبية بعد النو بات القلبية، إلا أنه لا ينتج كمية كبيرة من العضلات الوظيفية المتجدد ة.

على عكس عضلة الهيكل العظمى، يمكن لعضلة القلب الانقباض دون الحاج ة إلى تحفيز عصبى. يحتوى القلب على منظم ضربات مدمج (pacemaker) يُطل ق بشكل إيقاعى موجة من الإثارة الكهربائية التى تنتقل عبر العضلة وتُحفز انقباض حجرات القلب. يُقال إن القلب يتمتع بميزة التلقائية الإيقاعية (autorhythmic) 13 بسبب هذه القدرة على الانقباض بشكل إيقاعى ومستقل. ومع ذلك، يمكن لل جهاز العصبى الذاتى زيادة أو تقليل معدل ضربات القلب وقوة الانقباض.

[13] تلقائى self =



الشكل 11.22 طبقات العضلة الحشوية فى مقطع عرضى
للمرىء.

الشعر، قزحية العين، وأصغر الشرايين؛ ومع ذلك، فى الرحم الحامل،
تصبح الخلايا العضلية كبيرة جدًا وتساهم فى الانقباضات القوية للولاد
ة.
العضلات الملساء ليست دائمًا معصبة، ولكن عندما تكون كذلك
، فإن الإمداد العصبى يكون ذاتى التحكم، مثل القلب. عادةً لا تشكل أ
لياف الأعصاب الذاتية نقاط اتصال عصبية عضلية محددة بدقة مع ال
خلايا العضلية. بل تحتوى ألياف الأعصاب على ما يصل إلى ٢٠,٠٠٠ ا
نتفاخ يُسمى التورمات على طولها
)الشكل 11.21(. يحتوى كل تورم على حويصلات تشابكية تُفرز منها ا
لناقلات العصبية — عادةً النورإيبينفرين من الألياف الودية والأسيتيل
كولين من الألياف اللاودية. لا تحتوى الخلية العضلية على صفيحة نها
ئية حركية، بل تحتوى بدلاً من ذلك على مستقبلات لهذه الناقلات الع
صبية موزعة على سطحها.

سواء كانت معصبة أم لا، تستجيب العضلات الملساء لمجموعة
واسعة من المحفزات وغالبًا بدون أى إثارة كهربائية لغشاء الساركوليما
. هى أبطأ بكثير من العضلات الهيكلية والقلبية فى الانقباض والاستر
خاء، لكنها يمكن أن تبقى منقبضة لفترة طويلة دون تعب وبأقل اس
تهلاك للطاقة.

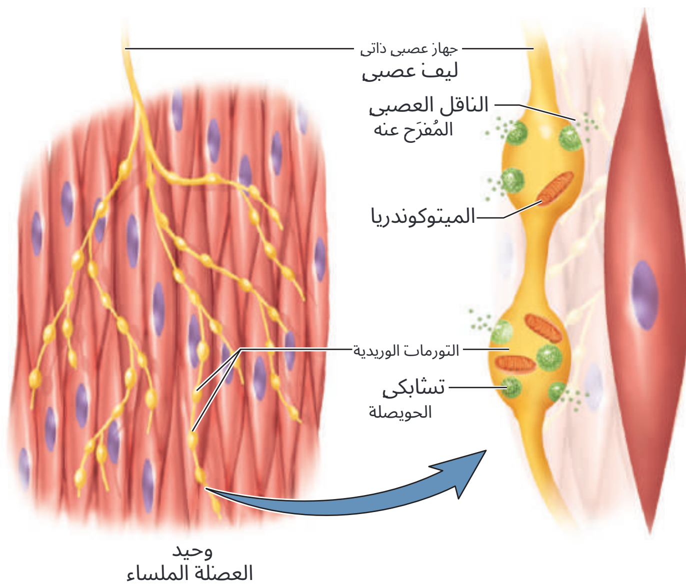
عادةً لا تشكل العضلات الملساء أعضاء بحد ذاتها، بل تشكل ط
بقات فى جدران الأعضاء الأكبر مثل المعدة، الأمعاء، الرحم، والمثانة ا
لبولية. فى مثل هذه الحالات، تكون طبقة العضلات متغيرة جدًا فى ا
لتعقيد. يمكن أن تتكون من خلية واحدة فقط فى الشرايين الصغيرة.
يحتوى المرىء والأمعاء على طبقة خارجية من العضلات الملساء الطو
لية مجاورة لطبقة أعمق داخلية من العضلات الدائرية)الشكل 11.22
(. عندما تنقبض الطبقة الطولية، تقصر وتوسع العضو؛ وعندما تنقب
ض الطبقة الدائرية، تضيق وتطيل العضو. فى المعدة، المثانة البولية،
والرحم، تشكل العضلات الملساء

ثلاث طبقات أو أكثر مع حزم من الخلايا العضلية تسير فى اتجاهات م
تعددة.
يمكن للعضلات الملساء دفع محتويات العضو، مثل دفع الطعام
عبر الجهاز الهضمى، تفريغ البول والبراز، وطرد الطفل أثناء الولادة. من
خلال توسيع أو تضييق الأوعية الدموية والممرات الهوائية، يمكنها تع
ديل سرعة تدفق الهواء والدم، الحفاظ على ضغط الدم، وإعادة توجيه ا
لدم من مسار إلى آخر.

على عكس العضلات الهيكلية والقلبية، فإن العضلات الملساء قادرة
ليس فقط على التضخم)نمو الخلايا(ولكن أيضًا على الانقسام الخلوى)الا
نقسام الميتوزى(والتكاثر الزائد)زيادة عدد الخلايا(. وبالتالى، ينمو عضو م
ثل الرحم الحامل من خلال إضافة خلايا عضلية جديدة بالإضافة إلى تكبير ا
لخلايا الموجودة. كما أن العضلات الملساء المصابة تتجدد جيدًا عن طريق
الانقسام الميتوزى.

هيكل الخلية العضلية

تتمتع خلايا العضلات الملساء بشكل مغزلى، وعادةً ما يكون عرضها حوالى
5 إلى 10 ميكرومتر فى الوسط، وتتضيق إلى نقطة فى كل طرف،
وعادةً ما يتراوح طولها بين 30 إلى 200 ميكرومتر—ولكن يمكن أن تصل إلى 500 ميكرومتر فى
رحم الحامل. وهى محاطة بالـ إندوميسيم ولكنها لا تحتوى على
بريميسيم، حزم عضلية)فاسيكل(، أو إبيميسيم. يوجد نواة واحدة فقط،
تقع بالقرب من وسط الخلية. الشبكة الساركوبلازمية
قليلة ولا توجد أنابيب T. توجد خيوط سميكة ورقيقة،
لكن لا توجد خطوط عرضية)ستريتش(، ساركوميرات، أو ألياف عضلية)مايوفيبريل(
لأن الخيوط العضلية)مايوفيلامينت(ليست مجمعة ومرتبة مع بعضها البعض
كما هو الحال فى العضلات المخططة. كما أن أقراص Z غائبة. فى



الشكل 11.21 تضخمات ليف عصبى ذاتى فى
العضلة الملساء الأحادية الوحدة.

— حيث تتشابك الفروع النهائية للألياف العصبية مع عضلات فردية و تشكل وحدة حركية. كل تضخم عصبي مرتبط بعضلة معينة، وتستجي ب كل عضلة بشكل مستقل عن جميع العضلات الأخرى—ومن هنا ح اء اسم متعدد الوحدات.
ومع ذلك، لا تولد العضلات الملساء متعددة الوحدات جهود فعلية. فه ي تنقبض استجابةً لتغيرات كهربائية متدرجة)مُدرجة(في الساركوليم ا أو حتى في غياب التحفيز الكهربائي.

العضلات الملساء أحادية الوحدة)الوحدة الواحدة(أكثر شيوعًا. تو جد في معظم الأوعية الدموية وفي المسالك الهضمية والتنفسية وال بوليّة والتناسلية—لذلك تُسمى أيضًا العضلات الحشوية. يشكل هذا ا لنوع الطبقات المذكورة سابقًا في العديد من الأحشاء المجوفة. تشير تسميات *أحادي الوحدة* و *الوحدة الواحدة* إلى أن خلايا العضلات من هذا النوع مرتبطة كهربائيًا ببعضها البعض عبر الوصلات الفجوية. هذا يسمح لها بتحفيز بعضها البعض مباشرة، بحيث تنقبض العديد من ا لخلايا كوحدة واحدة، كما لو كانت خلية واحدة. في هذا النوع من الع ضلات، لا يرتبط أي تضخم عصبي بعضلة معينة. بل تطلق التضخما ت كمية كبيرة من الناقل العصبي في النسيج. لذلك يمكن لكل ليف عصبي تحفيز عدة عضلات في آن واحد، ويمكن لكل عضلة الاستجابة لأكثر من ليف عصبي.

تحفيز العضلات الملساء

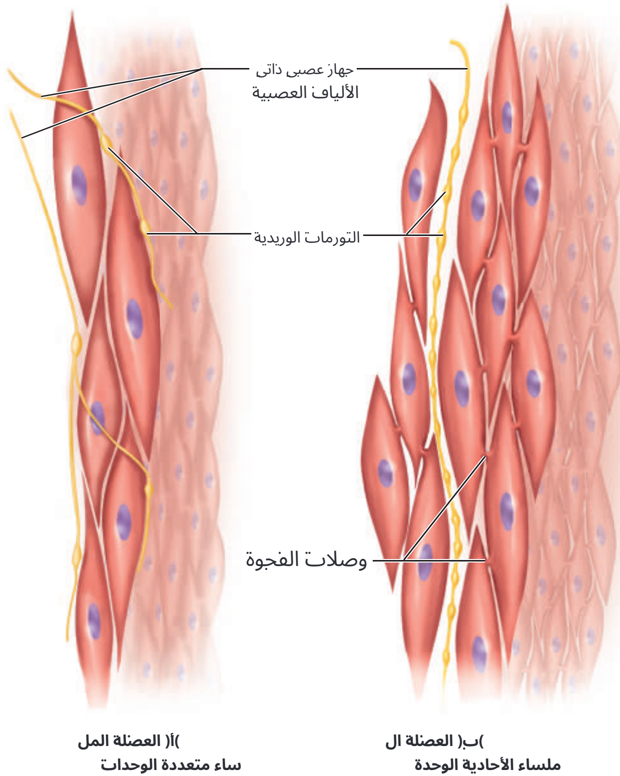
بينما تنقبض العضلات الهيكلية فقط استجابةً للتحفيز التنبيهي من خ لال ليف عصبي حركي جسدي، يمكن تحفيز العضلات الملساء بطرق متعددة. بعض المحفزات تثير العضلة وبعضها يثبطها. بعض المحفزا ت تولد جهود فعلية في الساركوليما، خاصة في العضلات الملساء أحا دية الوحدة، في حين يحفز البعض الآخر العضلة بوسائل غير كهربائية. بعض العضلات الملساء لا تحتوي على إمداد عصبي على الإطلاق. ت شمل طرق تحفيز العضلات الملساء وبعض الأمثلة ما يلي

- الألياف العصبية التلقائية والناقلات العصبية. على سبيل ا لمثال، تفرز الأعصاب اللاودية الأستيل كولين وتحفز حركة الجهاز الهضمي؛ وتفرز الأعصاب الودية النورإبينفرين وتوسع ا لقصيبات الهوائية في الرئتين.
- المواد الكيميائية. تتفاعل العضلات الملساء مع الهرمونات وثاني أ كسيد الكربون والأكسجين وأكسيد النيتريك ودرجة الحموضة المنخف ضة وغيرها من المحفزات الكيميائية. على سبيل المثال، يحفز هرمون ا لأوكسيتوسين تقلصات المخاض في الرحم، ويُرخي الهيستامين الع ضلات الملساء في الشرايين.
- درجة الحرارة. يسبب البرد انقباض العضلات الملساء مما يؤد ي إلى انتصاب الشعر وشد الجلد في مناطق مثل الهالة وال صفن، في حين يُرخي الدفء العضلات الملساء في شرايين ال جلد.
- التمدد. تنقبض المعدة والمثانة البولية عند تمددهما بسبب الطعام أو البول.
- الإيقاع الذاتي. بعض العضلات الملساء الأحادية الوحدة تتمتع بإيقاع ذاتي، خاصة في المعدة والأمعاء. بعض الخلايا العضلية تنفصل كهربائيًا بشكل تلقائي على فترات زمنية منتظمة وتط لق موجات من الانقباض عبر طبقة كاملة من العضلات. الإيقاع أبطأ بكثير مقارنة بالعضلة القلبية.

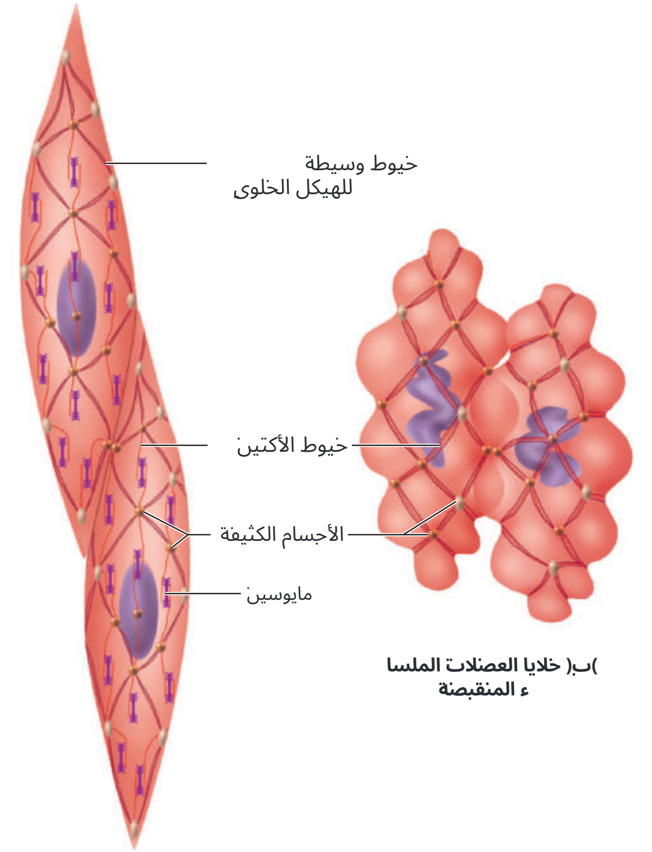
مكانها عبارة عن لويحات بروتينية تُسمى الأجسام الكثيفة. يلتصق بع ضها بالوجه الداخلي لغشاء البلازما والبعض الآخر موزع في جميع أنحا ء الساركوبلازم)انظر الشكل 11.24(. غالبًا ما تكون الأجسام الكثيفة ال مرتبطة بالغشاء في خلية واحدة مقابل مباشرة لتلك الموجودة في خل ية أخرى، مع وجود روابط بينها بحيث يمكن نقل القوة الانقباضية من خلية إلى أخرى. مرتبط بالأجسام الكثيفة شبكة هيكل خلوي واسعة م ن الخيوط المتوسطة. ترتبط خيوط الأكتين بالخيوط المتوسطة وكذلك مباشرة بالأجسام الكثيفة، لذا يتم نقل حركتها)المدعومة بالمايوسين(إلى الساركوليما وتقصر الخلية.

أنواع العضلات الملساء

يُظهر نسيج العضلات الملساء مجموعة من الأنواع بين طرفين يُطلق عليهما نوعا *متعدد الوحدات* و *أحادي الوحدة*)الشكل 11.23(. تحد ث العضلات الملساء متعددة الوحدات في بعض أكبر الشرايين وممرا ت الهواء الرئوية، وعضلات القُبضة لبصيلات الشعر، وعضلات العين التي تتحكم في القزحية والعدسة. على الرغم من أن تعصيبها تلقائي، إ لا أنه يشبه إلى حد ما تعصيب العضلات الهيكلية



الشكل 11.23 العضلة الملساء متعددة الوحدات والعضلة الملساء الأحادية الوحدة.
)أ(العضلة الملساء متعددة الوحدات، حيث تستقبل كل خلية عضلية إمداده ا العصبي الخاص وتتقلص بشكل مستقل.)ب(العضلة الملساء الأحادية الو حدة، حيث يمر ليف عصبي عبر النسيج دون أن يشكل تشابكًا عصبيًا مع أي خلية عضلية محددة، وتكون الخلايا العضلية متصلة بواسطة وصلا ت فجوية كهربائية.



الشكل 11.24 انقباض العضلات الملساء.)أ(خلايا مسترخية.
)ب(خلايا منقبضة.

فترة من 1 إلى 2 ثانية. النتيجة من كل هذا هى أنه مقارنةً بالعضلات ا لهيكلية، العضلات الملساء بطيئة جدًا فى الانقباض والاسترخاء. هى بطيئة فى الانقباض لأن ATPase المايوسين فيها إنزيم بطىء. وهى بطيئة فى الاسترخاء لأن المضخات التى تزيل 2Ca+ من السيتوسول أيضًا بطيئة. مع انخفاض مستوى Ca^{2+}، يطلق المايوسين مجموعة ا لفوسفات الخاصة به ولا يعود قادرًا على تحليل ATP وتنفيذ ضربات ا لقوة. ومع ذلك، لا ينفصل بالضرورة عن الأكتين فورًا. لديه آلية جسر ا لقفل التى تمكنه من البقاء مرتبطًا بالأكتين لفترة طويلة دون استهلا ك المزيد من ATP.

غالبًا ما تظهر العضلات الملساء التتانوس وتكون مقاومة جدًا للإر هاق. تنتج معظم ATP الخاص بها هوائيًا، لكن حاجتها إلى ATP صغير ة ولديها عدد قليل نسبيًا من الميتوكوندريا. تتطلب العضلات الهيكلى ة من 10 إلى 300 ضعف كمية ATP التى تحتاجها العضلات الملساء للحفاظ على نفس مقدار التوتر. مقاومة الإرهاق وآلية جسر القفل فى العضلات الملساء مهمة لتمكينها من الحفاظ على حالة انقباض مس تمر تُسمى توتر العضلات الملساء. يحافظ توتر العضلات على الشراى ين فى حالة تضيق جزئى تُسمى *توتر الأوعية الدموية*.

يمكن أن يسبب فقدان واسع النطاق لتوتر العضلات فى الشرايين انخ فاضًا خطيرًا فى ضغط الدم. كما يحافظ توتر العضلات الملساء على ا نقباض الأمعاء جزئيًا. الأمعاء هى أكثر

بغض النظر عن كيفية تحفيز الخلية العضلية، فإن المحفز الفورى للانقباض هو نفسه كما فى العضلة الهيكلية والقلبية — أى أيونات ا لكالسيوم. فى بعض الحالات، يأتى Ca^{2+} من الشبكة الساركوبلازمية) SR(، كما هو الحال فى العضلة الهيكلية. ومع ذلك، وب سبب ندرة الشبكة الساركوبلازمية، تحصل العضلة الملساء عادةً على معظم Ca^{2+} من السائل خارج الخلية عبر قنوات الكالسيوم المغلقة ف ى الساركوليما. لتعويض قلة الشبكة الساركوبلازمية، يحتوى الساركول يما على العديد من الجيوب الصغيرة المسماة الكهفولا)caveolae(حيث تتركز قنوات الكالسيوم. تركيز الكالسيوم فى السائل خارج الخلية أعلى بعشرة آلاف مرة منه فى السيتوسول، لذا إذا فتحت هذه القنوا ت، ينتشر بسرعة إلى داخل الخلية. وبما أن خلايا العضلة الملساء صغ يرة نسبيًا، فإن Ca^{2+} الداخل يصل بسرعة إلى جميع الخيوط العضلية.

ما الذى يفتح هذه القنوات المغلقة؟ بعضها يفتح ميكانيكيًا استج ابةً للتشوه الفيزيائى مثل التمدد.
هذا هو الحال فى الأعضاء التى تمتلئ وتفرغ بشكل دورى، مثل المعد ة والمثانة البولية. بعضها يفتح استجابة لإزالة الاستقطاب الكهربائية لغشاء الساركوليما.
بعضها الآخر يتم فتحه بواسطة الروابط الكيميائية استجابةً لمواد كيميائية تأتى من خارج الخلية أو من السيتوسول. على سبيل المثال، يرتبط الأستيل كولين والنورإبينفرين بمستقبلات السطح وينشطان
تكوين الرسل الثانوية داخل خلية العضلات الملساء.
هذا يؤدى إلى سلسلة من الأحداث داخل الخلية التى تفتح قنوات الكالسيوم السطحية من الداخل.

▶▶▶ طبق ما تعرفه
كيف يتأثر انقباض العضلات الملساء بالأدوية المسماة حاصرات قنوات الكالسيوم؟)انظر التعمق 3.1(.

الانقباض والاسترخاء

أيونات الكالسيوم هى المحفز الفورى للانقباض، ولكن على عكس الع ضلات الهيكلية والقلبية، لا تحتوى العضلات الملساء على التروبونين ليرتبط بها. بدلاً من ذلك، يرتبط الكالسيوم ببروتين مشابه يسمى كالم ودولين[14])كال-مود-يو-لين(، المرتبط بالمايوسين.
يقوم الكالمودولين بعد ذلك بتنشيط إنزيم يسمى كيناز خيط المايوس ين الخفيف، الذى يضيف مجموعة فوسفات إلى بروتين تنظيمى صغ ير على رأس المايوسين. هذا ينشط ATPase المايوسين، مما يمكنه من الارتباط بالأكتين وتحليل ATP. ثم ينتج المايوسين ضربات قوة وا سترداد متكررة مثل تلك الموجودة فى العضلات الهيكلية.

عندما تسحب الخيوط السميكة الخيوط الرقيقة، تسحب الخيوط الرقيقة الأجسام الكثيفة واللوحات الغشائية. من خلال الأجسام الكثي فة والهيكل الخلوى، يتم نقل القوة إلى غشاء البلازما وتقصير الخلية بأكملها. عندما تنقبض خلية العضلات الملساء، تنكمش وتلتف قليلاً مثل عصر منشفة مبللة)الشكل 11.24(.

فى العضلات الهيكلية، عادةً ما يكون هناك فترة كمون تبلغ 2 مل لى ثانية بين التحفيز وبدء الانقباض. فى العضلات الملساء، بالمقابل، تكون فترة الكمون من 50 إلى 100 مللى ثانية. تبلغ ذروة التوتر حوال ى 500 مللى ثانية)0.5 ثانية(بعد المنبه ثم تنخفض على مدى

---

[4] *اختصار لـ بروتين تعديل الكالسيوم*

بعض اضطرابات الجهاز العضلي	الجدول 11.5
تقصر عضلي غير طبيعي لا يحدث بسبب التحفيز العصبي. يمكن أن ينتج عن فشل مضخة الكالسيوم في إزالة Ca^{2+} من الساركوبلازم أو من انقباض نسيج الندبة، كما في مرضى الحروق.	تقلص عضلي
تشنجات عضلية مؤلمة ناتجة عن إطلاق سريع للخلايا العصبية الحركية؛ تُحفز بواسطة التمارين الشاقة، البرد، الجفاف، فقدان الإلكتروليتات، ا نخفاض سكر الدم، أو نقص تدفق الدم.	تشنجات
حالة صدمة تحدث بعد سحق عضلي هائل؛ مرتبطة بحمى عالية قد تكون قاتلة، واضطرابات قلبية ناتجة عن K^{+} المُطلقة من العضلة، و فشل كلوي ناتج عن انسداد الأنابيب الكلوية بالميوغلوبين المُطلق من العضلة المصابة. وجود الميوغلوبين في البول)الميوغلوبينوريا(هو علامة شائعة.	متلازمة السحق
ألم، وتصلب، وحساسية تُشعر بها بعد عدة ساعات إلى يوم من التمارين الشاقة. مرتبطة بإصابات دقيقة في العضلات؛ مع اضطراب في لأقراص Z، والليف العضلي، وأغشية البلازما؛ وارتفاع مستويات الميوغلوبين، كرياتين كيناز، ولاكتات ديهيدروجيناز في الدم.	ألم عضلي متأخر الظهور
انخفاض في حجم ألياف العضلات نتيجة تلف الأعصاب أو عدم نشاط العضلات، مثل الأطراف في الجبيرة والمرضى المحصورين في السرير أو الكرسي المتحرك. يمكن فقدان قوة العضلات بمعدل 3% يوميًا خلال الراحة في السرير.	ضمور عدم الاستخدام
ألم مزمن غير معروف السبب، يبدو أنه صادر من العضلات والعظام لكنه في الواقع ناتج عن معالجة غير طبيعية لإشارات الألم في الدماغ. يحدث بمعدل ضعف عند النساء مقارنة بالرجال، خاصة بين سن 30 و50.	الألم العضلي الليفي
التهاب وضعف العضلات الناتج عن العدوى أو الأمراض المناعية الذاتية.	التهاب العضلات
يمكنك العثور على اضطرابات عضلية أخرى موصوفة في الأماكن التالية:	
متلازمة الحيز في التعمق 10.1؛ إصابات الظهر في التعمق 10.2؛ الفتق في التعمق 10.3؛ الإصابات الرياضية الشائعة في التعمق 10.9؛ الشلل في التعمق 11.1 و13.5؛ و الحل العضلي و الوهن العضلي الوبيل في التعمق 11.4.	

ليست مرتبة في ساركوميرات منظمة، لذلك فإن تمدد العضلة لا ي سبب حالة يكون فيها التداخل قليلًا جدًا لتكوين الجسور العرضية؛ و)3 (الألياف السميكة في العضلات الملساء تحتوي على رؤوس الميوسي ن على طولها بالكامل)لا توجد منطقة عارية(، لذا يمكن أن تتكون الجسور العرضية في أي مكان، وليس فقط عند الأطراف.

يُظهر العضل الأملس أيضًا اللدونة — القدرة على تعديل توتره حسب درجة التمدد. وبالتالي، يمكن لعضو أجوف مثل المثانة أن يتمدد بشكل كبير دون أن يصبح مترهلاً عندما يكون فارغًا.

يعاني الجهاز العضلي من أمراض أقل مقارنة بأي نظام عضوي آخ ر، ولكن العديد من اضطراباته الشائعة مدرجة في الجدول 11.5. يتم وصف تأثيرات الشيخوخة على الجهاز العضلي في الفصل 29.

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

25. اشرح لماذا تعتبر الأقراص المتداخلة مهمة لوظيفة عضلة القل ب.
26. اشرح لماذا من المهم أن يكون للعضلة القلبية تقلصات أطول مدة من العضلة الهيكلية.
27. كيف تختلف العضلة الملساء الأحادية والعضلة الملساء متعددة ا لوحدات في التعصيب والسلوك الانقباضي؟
28. كيف تختلف العضلة الملساء عن العضلة الهيكلية فيما يتعلق بم صدر الكالسيوم ومستقبلات الكالسيوم؟
29. اشرح لماذا يُعتبر استجابة الإجهاد-الاسترخاء عاملاً مهماً في وظيفة ا لعضلة الملساء.

أطول في الجثة مما هي عليه في الشخص الحي بسبب فقدان توتر ا لعضلات عند الوفاة.

الاستجابة للتمدد

في بعض الأحيان، يسبب التمدد وحده انقباض العضلات الملساء عن طريق فتح قنوات الكالسيوم الميكانيكية المغلقة في الساركوليما. ع لى سبيل المثال، يؤدي تمدد المريء بالطعام أو القولون بالبراز إلى إثار ة موجة انقباض تُسمى الحركة الدودية (PERR-ih-STAL-sis) التي تدفع المحتويات على طول العضو.

يعرض العضل الأملس استجابة تُسمى استجابة الإجهاد-الاسترخاء)أو الاسترخاء الاستقبالي(. عند التمدد، ينقبض لفترة وجيزة ويقاوم، لكنه بعد ذلك يسترخي. تتضح أهمية هذه الاستجابة في المثانة البولية. إذا انقبضت المثانة المتمددة ولم تسترخ قريبًا، فإنها ستفرغ البول تقريبًا بمجرد أن تبدأ في الامتلاء، مما يؤدي إلى فشلها في تخزين البول حتى الوقت المناسب.

تذكر أن العضلات الهيكلية لا يمكنها الانقباض بقوة كبيرة إذا تم شدها بشكل مفرط. ومع ذلك، العضلات الملساء أقل تقييدًا بعلاقة ا لطول-التوتر. فهي تنقبض بقوة حتى عندما تكون مشدودة بشكل كبير ، لذا يمكن للأعضاء المجوفة مثل المعدة والمثانة أن تمتلئ ثم تفرغ م حتوياتها بكفاءة. يجب أن تكون العضلات الهيكلية ضمن 30% من ال طول الأمثل لكي تنقبض بقوة عند التحفيز. بالمقابل، يمكن للعضلات الملساء أن تكون في أي مكان من نصف إلى ضعف طولها في حالة ا لراحة ولا تزال تنقبض بقوة. هناك ثلاثة أسباب لذلك:

)1(لا توجد أقراص Z، لذلك لا يمكن للخيوط السميكة أن تصطدم بها وتوقف الانقباض؛)2(بما أن الخيوط السميكة والرقيقة



نظرة أعمق 11.4

تطبيق سريرى

الحثل العضلى والوهن العضلى الوبيل

الحثل العضلى (MD)[15] هو مصطلح شامل لعدة أمراض وراثية تتدهور فيها العضلات وتضعف وتُستبدل تدريجياً بالدهون والأنسجة الندبية الليفية. أكثر أشكال المرض شيوعاً هو الحثل العضلى دوشين[16] (DMD)، وهو صفة متنحية مرتبطة بالجنس تؤثر على حوالى 1 من كل 3500 ذكر مولود حى.

لا يظهر DMD عند الولادة، لكن تبدأ العلامات بالظهور حوالى العمر سنتين أو ثلاث سنوات، حيث يواجه الطفل صعوبة فى مواكبة الأطفال الآخرين، يسقط كثيراً، ويجد صعوبة فى الوقوف مجدداً. فى المتوسط، يتم تشخيصه حوالى عمر 5 سنوات. يؤثر أولاً على عضلات الوركين؛ ثم الساقين؛ ثم يتقدم ليشمل عضلات البطن، والعمود الفقرى، والتنفس وكذلك عضلة القلب. تقصر العضلات مع ضمورها، مما يسبب تشوهات فى الوضعية مثل الجنف. حوالى 90% من الأشخاص المصابين بـ DMD يعتمدون على الكرسى المتحرك بحلول عمر 15 سنة. قليل منهم يعيشون بعد عمر 30، لكن بعضهم ينجو ويحقق الكثير فى حياتهم حتى فى الخمسينيات. لأسباب غير واضحة، يعانى الأشخاص المصابون بـ DMD أيضاً من تدهور تدريجى فى القدرات العقلية. عادةً ما يؤدى الوفاة إلى فشل تنفسى، أو عدوى رئوية، أو فشل قلبى. لا يمكن علاج DMD، لكنه يُعالج بالتمارين لتقليل ضمور العضلات وبالدعامات لتقوية الوركين الضعيفين والحفاظ على الوضعية.

السبب الأساسى لمرض ضمور العضلات الدوشينى (DMD) هو طفرة فى جين بروتين العضلات ديستروفين (انظر الشكل 11.4) — وهو جين كبير معرض بشدة للطفرات. بدون ديستروفين، لا يوجد ارتباط بين الخيوط الرقيقة (الميofilaments) والساركوليما. تتحرك الساركوميرات بشكل مستقل عن الساركوليما، مما يسبب تمزقات فى الغشاء.
تسمح الغشاء الممزق بدخول فائض من Ca^{2+} إلى الخلية، مما ينشط البروتيازات داخل الخلية (إنزيمات هضم البروتين). تقوم هذه الإنزيمات بتفكيك البروتينات القابضة فى العضلة، مما يؤدى إلى الضعف ونخر الخلايا. يتم استبدال ألياف العضلات الميتة بنسيج ندبى، والذى يعيق الدورة الدموية فى العضلة وبالتالى يساهم فى تفاقم النخر. يتسارع تدهور العضلات فى حلقة مميتة من التغذية الراجعة الإيجابية.

15 dys = سيء، غير طبيعى؛ trophy = نمو

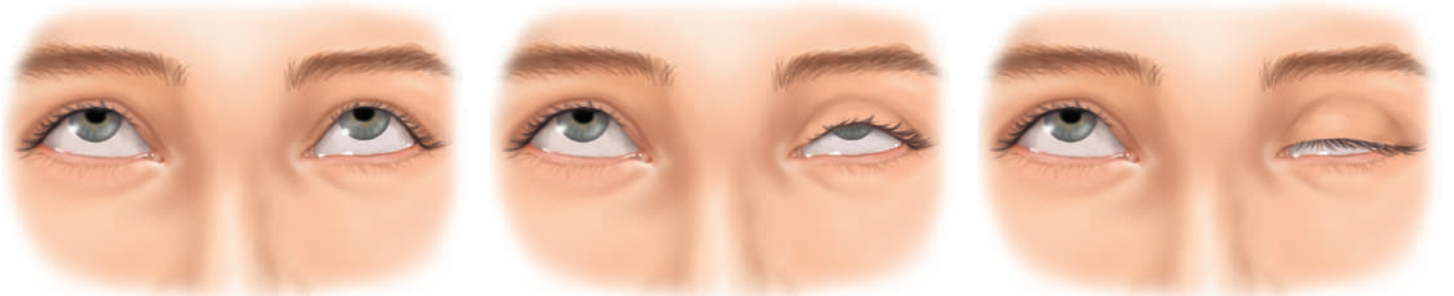
16 غيوم ب. أ. دوشين (1806–1875)، طبيب فرنسى

يمكن للفحص الجينى تحديد الحاملين المتغايرين لمرض الضمور العضلى الدوشينى (DMD)، مما يسمح بتقديم المشورة للآباء المحتملين حول خطر إنجاب طفل مصاب بالمرض. ومع ذلك، يحدث حوالى حالة من بين كل ثلاث حالات بسبب طفرة عفوية جديدة وبالتالى لا يمكن التنبؤ بها من خلال الفحص الجينى.

الوهن العضلى الوبيل[17] (MG) (الوهن العضلى الوبيل) يحدث عادةً فى النساء بين سن 20 و40. هو مرض مناعى ذاتى تهاجم فيه الأجسام المضادة الوصلات العصبية العضلية وترتبط بمستقبلات الأستيل كولين (ACh) معًا فى مجموعات. ثم تقوم ألياف العضلات بإزالة هذه المجموعات من الساركوليما عن طريق الالتقام الخلوى. ونتيجة لذلك، تصبح ألياف العضلات أقل حساسية للأستيل كولين تدريجيًا. تظهر التأثيرات غالبًا أولاً فى عضلات الوجه وتشمل عادةً تدلى الجفون (تدلى الجفن، الشكل 11.25) والرؤية المزدوجة (بسبب الحول، عدم القدرة على تثبيت النقطة نفسها بكلتا العينين). غالبًا ما تتبع الأعراض الأولية صعوبة فى البلع، وضعف الأطراف، وضعف التحمل البدنى.

يموت بعض الأشخاص المصابين بالوهن العضلى الوبيل بسرعة نتيجة فشل التنفس، لكن آخرين يعيشون حياة طبيعية. إحدى طرق تقييم تقدم المرض هى استخدام البونغاروتوكسين، وهو بروتين من سم الأفعى يرتبط بمستقبلات الأستيل كولين. كمية الارتباط تتناسب مع عدد المستقبلات التى لا تزال وظيفية. أحيانًا ترتبط بعضلة مريض الوهن العضلى الوبيل بأقل من ثلث كمية البونغاروتوكسين التى ترتبط بها العضلة الطبيعية.
غالبًا ما يُعالج الوهن العضلى الوبيل بمثبطات الكولينستيراز.
تعمل هذه الأدوية على إبطاء تحلل الأستيل كولين فى الوصلة العصبية العضلية وتمكنه من تحفيز العضلة لفترة أطول. قد تُستخدم عوامل مثبطة للمناعة مثل البردنيزون والأزاثيوبرين (Imuran) لكبح إنتاج الأجسام المضادة التى تدمر مستقبلات الأستيل كولين.
نظرًا لأن بعض خلايا المناعة تُحفز بواسطة هرمونات من الغدة الزعترية، فإن إزالة الغدة الزعترية (استئصال الزعتر) تساعد فى تخفيف الاستجابة المناعية المفرطة التى تسبب الوهن العضلى الوبيل. أيضًا، قد تُستخدم تقنية تسمى تبادل البلازما لإزالة الأجسام المضادة الضارة من بلازما الدم.

17 my = عضلة؛ asthen = ضعف؛ grav = شديد

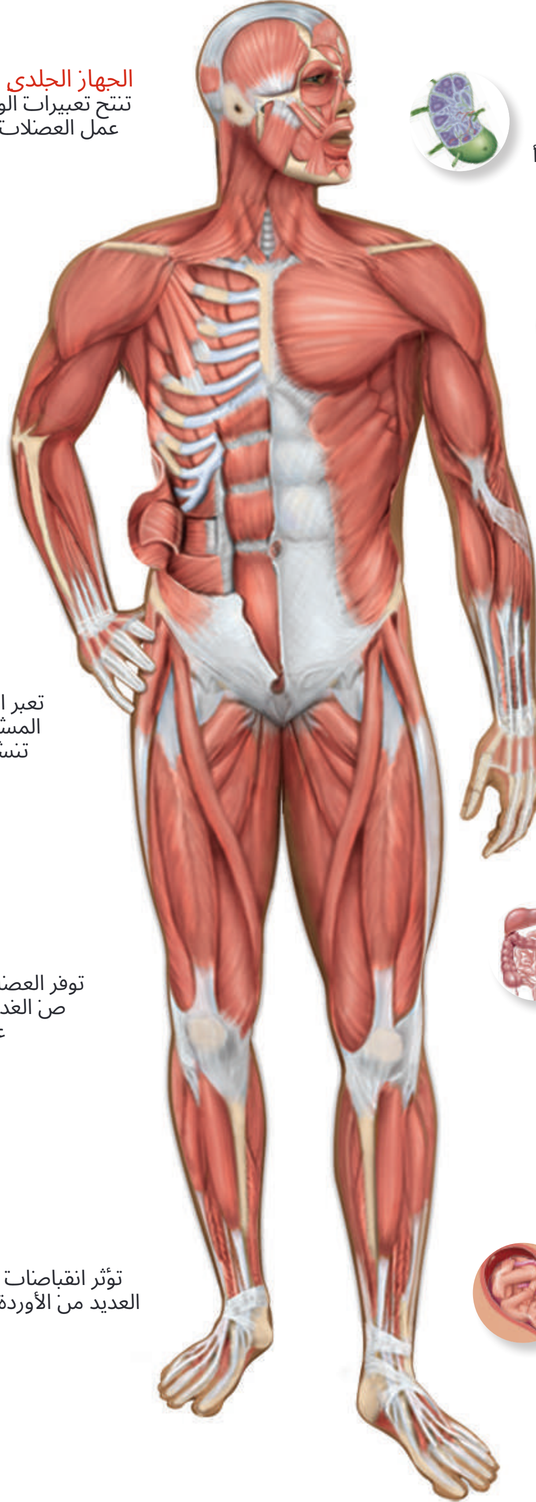


الشكل 11.25 اختبار الوهن العضلى الوبيل. يُطلب من المريض أن ينظر إلى الأعلى. خلال 60 إلى 90 ثانية، يحدث تدلى واضح (هبوط الجفن) لأحد الجفون بسبب عدم القدرة على الحفاظ على تحفيز عضلة المدور حول العين.

اتصالات النظام



تأثيرات الجهاز العضلى
على أجهزة الجسم الأخرى





الجهاز اللمفاوى والمناعى
تساعد انقباضات العضلات على تدفق اللم
ف؛ يرتفع مستوى خلايا المناعة والأجسام الم
ضادة فى الدورة الدموية مع التمرين؛ يمكن أ
ن يثبط التمرين المفرط المناعة.



الجهاز التنفسى
تعمل انقباضات العضلات على تهوية
الرئتين؛ عضلات الحنجرة و
البلعوم تنظم تدفق الهواء والكلام؛
الناتج عن النشاط العضلى يحرض ا CO_2
لتنفس؛ عضلات البطن تنتج دفعات
ضغط للسعال والعطس وتساعد فى التن
فس العميق.



الجهاز البولى
يحافظ مصرة عضلية هيكلية ع
لى احتباس البول فى الم
ثانة حتى يكون من المناسب إ
فرازه؛ تساعد عضلات البطن والحو
ض فى ضغط وإفراغ المثا
نة؛ تدعم عضلات قاع الحوض الم
ثانة؛ تساعد عضلة البلبوسبونج
يوس فى تنظيف البول من الإحليل
الذكرى.



الجهاز الهضمى
تمكن العضلات من المضغ و
البلع؛ تتحكم العضلات فى
الجوانب الإرادية للتغوط؛
تنتج عضلات البطن
القيء؛ تحمى عضلات البطن والظهر
الأعضاء الهضمية؛
تفرز العضلات هرمونات
تحفز أيض الكبد وتنظم توازن
الجلوكوز والدهون.



الجهاز التناسلى
تشارك العضلات فى الاستجابات ا
لجنسية بما فى ذلك الانتصاب والقذ
ف؛ تساعد عضلات البطن والحوض
فى الولادة.



الجهاز الجلدى
تنتج تعبيرات الوجه عن
عمل العضلات على
الجلد.



الجهاز الهيكلى
تحرك العضلات وتثبت المفا
صل وتنتج ضغوطًا تؤثر على ال
تكلس، وإعادة تشكيل العظام، و
أشكال العظام.



الجهاز العصبى
تعبر العضلات عن الأفكار
المشاعر، والأوامر الحركية التى
تنشأ فى الجهاز العصبى المركزى.



الجهاز الغدد الصماء
توفر العضلات الهيكلية غطاءً وقائيًا لبع
ض الغدد الصماء؛ تؤثر كتلة العضلات
على حساسية الأنسولين.



الجهاز الدورى
تؤثر انقباضات العضلات على تدفق الدم فى
العديد من الأوردة؛ التمرين يحفز نمو
أوعية دموية جديدة.

دليل دراسة

قيّم نتائج تعلمك

لاختبار معرفتك، ناقش المواضيع التالية مع شريك دراستك أو كتابةً، ويفضل أن يكون ذلك من الذاكرة.

11.1 أنواع وخصائص النسيج العضلى

1. الخصائص الفسيولوجية الخمسة لجميع الأنسجة العضلية وأهميتها لوظيفة العضلات
2. الخصائص المميزة لعضلة الهيكل العظمى
3. الأحجام المتوسطة والقصوى لألياف العضلات الهيكلية
4. الأنسجة الضامة المرتبطة بألياف العضلات وعلاقتها بارتباطات العضلات بالعظام

11.2 خلايا العضلات الهيكلية

1. الغشاء الساركوليما والساركوبلازم، وأدوار الجليكوجين والميوجلوبين فى الساركوبلازم
2. دور الخلايا العضلية الأولية (الميوبلاستات) فى تطور ليف العضلة، وكيف تؤدى إلى الحالة متعددة النوى لليف العضلى وإلى الخلايا الساتلية الخارجية لليف
3. تركيب ووظيفة الشبكة الساركوبلازمية والأنابيب العرضية
4. أنواع الخيوط العضلية التى تشكل الميوفيبريل
5. تركيب وتنظيم جزيئى للخيط السميك، وتركيب جزىء الميوسين
6. تركيب الخيط الرقيق؛ تنظيم الأكتين والتروبوميوسين والتروبونين؛ والمواقع النشطة لأحاديات الأكتين
7. تركيب الخيوط المرنة وعلاقتها بالخيوط السميكة وأقراص Z
8. موقع ووظيفة الديستروفين فى ليف العضلة
9. أسماء الخطوط العرضية فى العضلات الهيكلية والقلبية وكيف ترتبط بالترتيب المتداخل للخيوط السميكة والرقيقة
10. تعريف *الساركومير*

11.3 العلاقة بين العصب والعضلة

1. وحدات الحركة؛ معانى وحدات الحركة الكبيرة والصغيرة؛ والمزايا النسبية لكل من النوعين
2. تركيب الوصلة العصبية العضلية ووظيفة كل من مكوناتها
3. مصدر ودور ومصير الأسيتيل كولين (ACh) فى الوصلة العصبية العضلية
4. دور الأسيتيل كولين إستراز فى وظيفة العصب والعضلة
5. كيف يولد العصب أو خلية العضلة جهد غشاء الراحة (RMP)؛ الجهد النموذجى لهذا الجهد فى ليف العضلة الهيكلية
6. كيف يختلف جهد الفعل عن جهد الراحة الغشائى، وتأثيرات جهد الفعل على الخلية العصبية أو العضلة

11.4 سلوك ألياف العضلات الهيكلية

1. تنبيه ليف عضلى؛ كيف يؤدى الإشارة العصبية إلى موجة متحركة من التنبيه الكهربائى فى ليف عضلى
2. اقتران التنبيه بالانقباض؛ كيف يؤدى التنبيه الكهربائى لليف عضلى إلى كشف المواقع النشطة على الأكتين فى الخيط الرقيق من الألياف العضلية
3. آلية الانقباض بواسطة انزلاق الخيوط؛ كيف يؤدى كشف المواقع النشطة إلى الارتباط المتكرر للميوسين بالأكتين وانزلاق الخيوط الرقيقة فوق الخيوط السميكة
4. استرخاء العضلة؛ كيف يؤدى توقف الإشارة العصبية إلى حجب المواقع النشطة بحيث لا يستطيع الميوسين الارتباط بها وللحفاظ على توتر العضلة
5. أدوار الكالسيوم، التروبونين، التروبوميوسين، وATP فى هذه العمليات
6. علاقة الطول بالتوتر فى العضلة؛ لماذا تنقبض العضلة بشكل ضعيف إذا كانت منقبضة بشكل مفرط أو ممدودة بشكل مفرط قبل التحفيز؛ وكيف يرتبط هذا المبدأ بوظيفة توتر العضلة

11.5 سلوك العضلات الكاملة

1. مصطلحات شدة التحفيز الدنيا اللازمة لجعل العضلة تنقبض، وللتأخير بين التحفيز والانقباض
2. مراحل ارتعاش العضلة
3. أسباب اختلاف تقلصات العضلات فى القوة (التوتر)
4. كيف يتم إنتاج التعبئة والتشنج وكيف يؤثران على توتر العضلات
5. الاختلافات بين الانقباض الإيزومترى والانقباض الإيزوتونى والاختلافات بين الشكلين المركزية واللامركزية للانقباض الإيزوتونى

11.6 أيض العضلات

1. لماذا لا يمكن للعضلة أن تنقبض بدون ATP
2. الاختلافات بين التنفس الهوائى والتخمر اللاهوائى فيما يتعلق بوظيفة العضلات
3. استخدام الميوغلوبين والتنفس الهوائى لإنتاج ATP فى بداية التمرين
4. طريقتان يولد بهما نظام الفوسفات ATP للاستمرار فى التمرين
5. كيف يولد التخمر اللاهوائى ATP بعد استنفاد نظام الفوسفات
6. لماذا يستطيع العضل العودة إلى التنفس اللاهوائى لتوليد ATP بعد حوالى 40 ثانية من التمرين
7. أسباب تعب العضلات
8. الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين (Vo2 max)، ولماذا يحدد جزئياً قدرة الشخص على الحفاظ على التمرين عالى الشدة، ولماذا يختلف من شخص لآخر
9. لماذا يتبع التمرين حالة مطولة من ارتفاع استهلاك الأكسجين، واسم تلك الحالة
10. الاختلافات بين ألياف العضلات الأكسجينية البطيئة والألياف الجليكوليتية السريعة؛ المزايا الخاصة بكل منها؛ كيف ترتبط بالقوة وتجنيد وحدات الحركة؛ وأمثلة على العضلات التى يهيمن عليها كل نوع
11. العوامل التى تحدد قوة العضلة
12. أمثلة على تمارين المقاومة وتمارين التحمل، وتأثير كل منها على أداء العضلات

11.7 العضلات القلبية والملساء

1. الأسباب التى تجعل عضلة القلب تختلف فسيولوجيًا عن عضلة الهيكل العظمى
2. الاختلافات الهيكلية بين خلايا عضلة القلب وألياف العضلات الهيكلية
3. الإيقاع الذاتى للقلب وقدرته على الانقباض دون تحفيز عصبى
4. مقاومة التعب غير العادية لعضلة القلب؛ الخصائص الهيكلية والكيميائية الحيوية التى تفسر ذلك
5. الاختلافات الوظيفية بين العضلات الملساء ونوعى العضلات المخططة
6. كيف يختلف تعصيب العضلات الملساء عن تعصيب العضلات الهيكلية
7. التنوع فى تعقيد وتنظيم العضلات الملساء التشريحى
8. وظائف مختلفة للعضلات الملساء
9. طريقتان لنمو العضلات الملساء
10. هيكل خلايا العضلات الملساء وما يحل محل الأقراص Z والأنابيب T الغائبة
11. الاختلافات بين العضلات الملساء متعددة الوحدات والعضلات الملساء الأحادية، وعلاقة العصب بالعضلة فى كل منهما

دليل الدراسة

12. أنماط مختلفة لتحفيز العضلات الملساء

13. كيف يختلف اقتران الإثارة والانقباض فى العضلات الملساء عن تلك فى العضلات اله يكلية؛ أدوار الكالمودولين والمايو-

كيناز سلسلة الضوء سين فى انقباض العض لات الملساء

14. طبيعة وتأثير آلية الجسم المثبت فى العضلات الملساء

15. دور العضلات الملساء فى الحركات الدودية

16. فوائد استجابة الاسترخاء الناتجة عن التوتر فى العضلات الملساء، وغياب علاقة الطول–التوتر فيها

اختبار استرجاعك

الإجابات فى الملحق أ

1. لجعل العضلة تنقبض بقوة أكبر، يمكن للجها ز العصبى تنشيط المزيد من الوحدات الحركية. تُسمى هذه العملية
   - a. التجنيد.
   - b. التلخيص.
   - ج. التشنج غير الكامل.
   - د. الارتعاش.
   - هـ. الانقباض المركز.

2. الوحدة الوظيفية لليف العضلى هى ، وهو مقطع من قرص Z واحد إلى ______ التالى.
   - a. الميوفبريل
   - b. الشريط لا
   - ج. الساركومير
   - د. الوصل العصبى العضلى
   - هـ. التخطيط

3. قبل أن يتمكن ليف العضلة الهيكلية من الانقباض، يجب أن يرتبط ATP بـ
   - a. قرص Z.
   - b. رأس الميوسين.
   - ج. التروبوميوسين.
   - د. التروبونين.
   - هـ. الأكتين.

4. قبل أن يتمكن ليف العضلة الهيكلية من الانقباض، يجب أن يرتبط Ca^{2+} بـ
   - a. الكالسكويسترين.
   - b. الكالمودولين.
   - ج. رأس الميوسين.
   - د. التروبونين.
   - هـ. الأكتين.

5. أى من بروتينات العضلات التالية هو *ليس* داخل الخلية؟
   - a. أكتين
   - b. مايوسين
   - ج. كولاجين
   - د. تروبونين
   - هـ. ديستروفين

6. خلايا العضلات الملساء تحتوى على ______، فى حين أن ألياف العضلات الهيكلية لا تحتوى على.
   - a. الشبكة الساركوبلازمية
   - b. تروبوميوسين
   - ج. كالمودولين
   - د. أقراص Z
   - هـ. مايوسين ATPase

7. توجد مستقبلات الأستيل كولين بشكل رئيسى فى
   - a. الحويصلات المشبكية.
   - b. الأكواز النهائية.
   - ج. الخيوط السميكة.
   - د. الخيوط الرقيقة.
   - هـ. طيّات الوصل.

8. يمكن لخلايا العضلات الملساء الأحادية الوحدة أن تحفز بعضها البعض لأنها تمتلك
   - a. جسر قفل.
   - b. وصلات منتشرة.
   - ج. وصلات فجوية.
   - د. وصلات صنيقة.
   - هـ. جسور عرضية.

9. الشخص الذى لديه VO_2 max مرتفع
   - a. يحتاج إلى كمية أقل من الأكسجين مقارنة بشخص لديه VO_2 max منخفض.
   - b. يمتلك عضلات أقوى من شخص لديه VO_2 max منخفض.
   - ج. من غير المرجح أن يطهر تشنح عضلى مقارنة بشخص لديه VO_2 max منخفض.
   - د. يمتلك عددًا أقل من الميتوكوندريا العضلية مقارنة بشخص لديه VO_2 max منخفض.
   - هـ. يختبر تعبًا عضليًا أقل أثناء التمرين مقارنة بشخص لديه VO_2 max منخفض.

10. الألياف التأكسدية البطيئة تحتوى على كل ما يل ى *ما عدا*
    - a. وفرة الميوجلوبين.
    - b. وفرة الجليكوجين.
    - ج. مقاومة عالية للإرهاق.
    - د. لون أحمر.
    - هـ. قدرة عالية على تخليق ATP بشكل هوائى.

11. أدنى شدة منبه تؤدى إلى انقباض العضلة تُسمى ______.

12. العضلات الحمراء تتكون بشكل رئيسى من ألياف العضلات البطيئة أو ______، أو ألياف العضلات من النوع الأول.

13. أجزاء من الشبكة الساركوبلازمية تُسمى ______ تقع على كل جانب من أنبوب T.

14. الخيوط السميكة تتكون بشكل رئيسى من البرو تين ______.

15. الناقل العصبى الذى يحفز العضلات الهيكلية ه و ______.

16. يحتوى العضل على صبغة مرتبطة بالأكسجين تُ سمى ______.

17. تلعب عضلات الهيكل العظمى نفس ______ ال الدور الذى تلعبه الأجسام الكثيفة فى العضلات الملساء.

18. فى ألياف الأعصاب الذاتية التى تحفز العض لات الملساء الأحادية الوحدة، يكون الناقل الع صبى محتوى فى انتفاخات تُسمى ______.

19. حالة من التقلص الجزئى المستمر للعضلات تُسمى ______.

20. ______ هو زيادة فى توتر العضلة دون تغيير فى الطول.

بناء مفرداتك الطبية

الإجابات فى الملحق أ

اذكر معنى كل عنصر من عناصر الكلمة، وقدم مصطلحًا طبيًا من هذا الفصل يستخدمه أو تعديلًا طفيفًا له.

1. أستينو-
2. أوتو-
3. ديس-
4. إيزو-
5. ميترى-
6. ميو-
7. سارك-
8. تمبورو-
9. تونو-
10. -تروفى

دراسة دليل

الإجابات فى الملحق أ

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

اشرح بإيجاز لماذا كل من العبارات التالية خاطئة، أو أعد صياغتها لتصبح صحيحة.

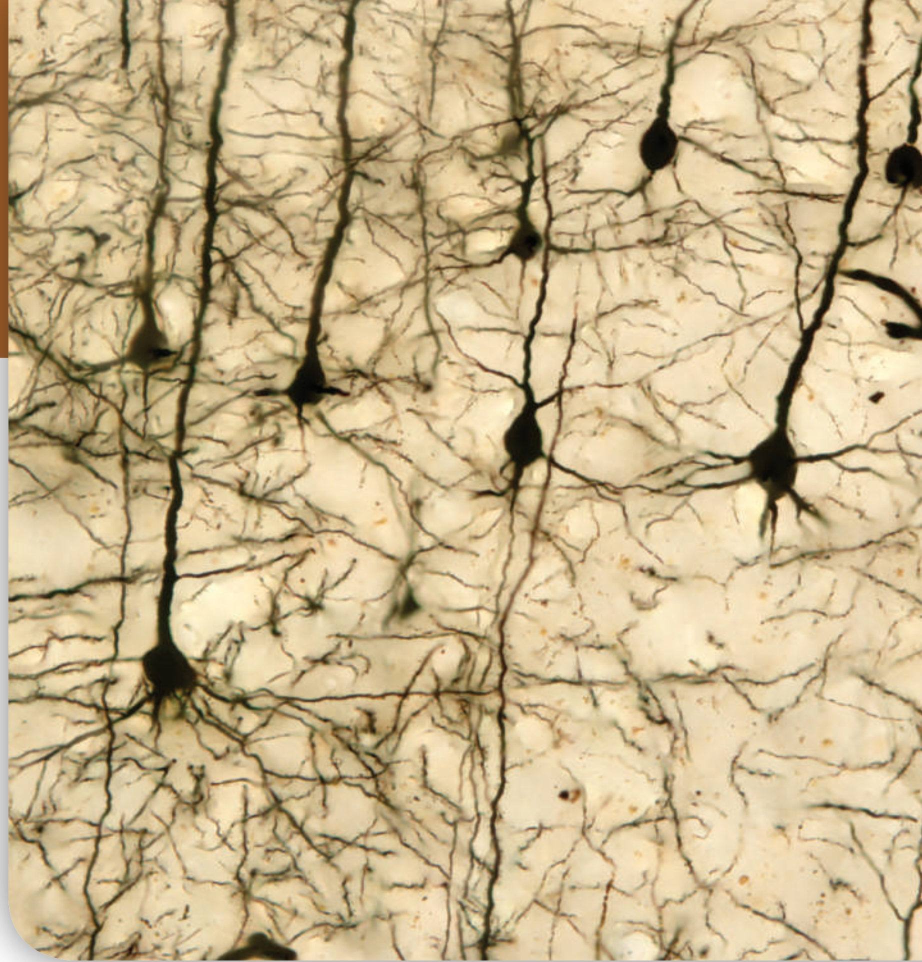
1. كل عصبون حركى يغذى ليفًا عضليًا واحدًا.
2. العصبونات الحركية الجسدية تحفز العضلات الهيكلية لكنها تثبط عضلة القلب.
3. ألياف العضلات الجليكوليتية السريعة مقاومة نسبيًا للإرهاق.
4. توجد الخيوط الرقيقة فقط فى الأشرطة I للع ضلات المخططة.
5. تقصّر الخيوط الرقيقة عندما ينقبض العضل.
6. يفتقر العضل الأملس إلى الخطوط بسبب ع دم وجود خيوط رقيقة وسميكة.
7. يجب أن ينقبض العضل إلى درجة التشنج الكا مل قبل أن يبدأ فى تحريك حمولة.
8. إذا لم يتوفر ATP لليف العضلى، فلا يزال بإم كانه الاستثارة لكنه لا يستطيع الانقباض.
9. فى أول 30 ثانية من التمرين المكثف، يحص ل العضل على معظم طاقته من اللاكتات.
10. مثل العضل القلبى، جميع العضلات الملسا ء ذاتية الإيقاع.

اختبار فهمك

1. بدون ATP، لا يمكن للعضل المسترخى أن ين قبض ولا يمكن للعضل المنقبض أن يسترخى. اشرح السبب.
2. يتحكم العضل الأملس فى انحناء عدسة العين وقطر البؤبؤ، لكنه سيكون ضعيفًا فى التحكم بح ركات العين مثل تتبع طائر أو قراءة صفح ة مطبوعة. اشرح السبب.
3. تم تصميم الدراجات بحيث يميل الراكب إلى الأمام بزاوية حوالى 45° بدلاً من الجلوس بش كل مستقيم. بخلاف مسائل مقاومة الرياح ، اشرح ميزة هذا من حيث التشريح العضلى ا لهيكلى لمنطقة الورك ومبدأ فسيولوجى فى ه ذا الفصل.
4. عندما ينقبض العضل الهيكلى، تصبح إحدى أو أكثر من أشرطة الساركومير أضيق وتخ تفى، وتبقى واحدة أو أكثر منها بنفس العرض. أى الأشرطة ستتغير — A، H، أم I — ولماذا؟
5. شلل الأطفال هو مرض يسبب شللاً عضلياً ناتجاً ع ن عدوى بفيروس شلل الأطفال. ومع ذلك، لا يصيب هذا الفيروس الأنسجة العضلية أبداً.)أ(اشرح كيف يمكن أن يشل العضلات دون أن يغزوها.)ب(اشرح لماذا لا يشل عض لة القلب ولا يوقف القلب.

الفصل 12

النسيج العصبى



الخلايا العصبية فى قشرة المخ، المسماة بالخلايا الهرمية. أنت تستخدم خلايا من هذا النوع لقراءة هذه الصفحة.

خوسيه لويس كالفو / Shutterstock

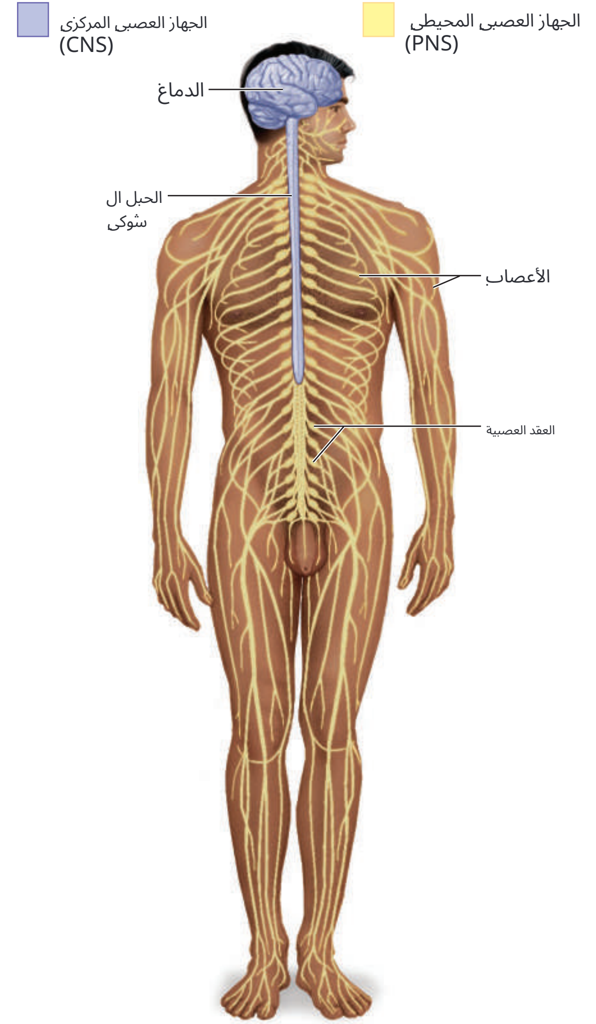
مخطط الفصل

رؤى أعمق

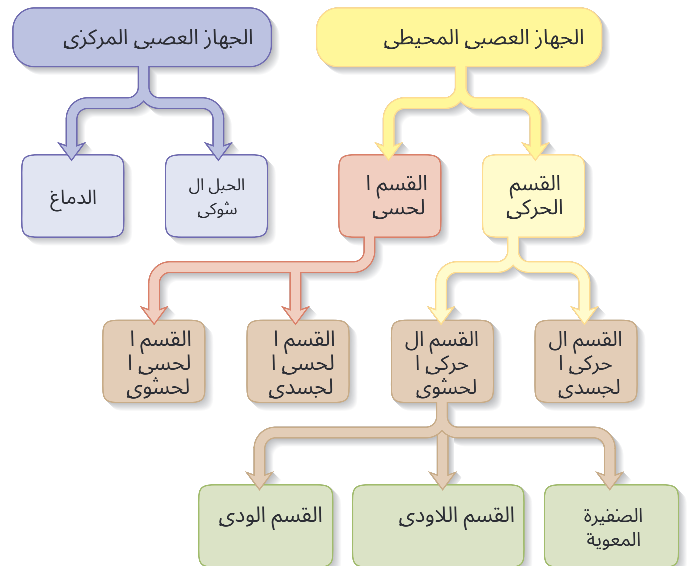
- **12.1** التطبيق السريرى: الخلايا الدبقية وأورام الدماغ
- **12.2** التطبيق السريرى: أمراض عمد الميالين
- **12.3** التاريخ الطبى: عامل نمو الأعصاب—من المختبر المنزلى إلى جائزة نوبل
- **12.4** التطبيق السريرى: مرض الزهايمر و مرض باركنسون



الوحدة 7: الجهاز العصبى



الشكل 12.1 الجهاز العصبي.



الشكل 12.2 أقسام الجهاز العصبي.

مراجعة

- يشرح هذا الفصل الفيزيولوجيا الكهربائية للخلايا العصبية ويفترض أنك على دراية بتراكيز و التدرجات الكهروكيميائية)انظر القسم 1.6هـ(.
- يفترض هذا الموضوع أيضًا الإلمام بـ "بروتينات الغشاء" في القسم 3. أ2—وخاصة المستقبلات، والإنزيمات، وقنوات الأيونات التي تُفتح بواسطة الرابطة أو الجهد، وقنوات التسرب، ومضخة الصوديوم-البو تاسيوم.

الجهاز العصبي هو نظام معقد وغامض للغاية، وسيشغل انتباهنا خلال الفصول الخمسة القادمة. إنه أساس كل تجاربنا الواعية، وشخصياتنا، قدراتنا الفكرية، وسلوكنا. يثير اهتمام علماء الأحياء، والأطباء، وعلماء النف س، وحتى الفلاسفة بشكل عميق. تُعرف دراسته العلمية باسم علم الأعصا ب ويعتبرها الكثيرون التحدي النهائي الذي تواجهه علوم السلوك والعلوم ا لحياتية. سنبدأ من أبسط مستوى تنظيمي—خلايا الأعصاب

)الخلايا العصبية(والخلايا المسماة الدبق العصبي التي تدعم وظائفها \b بعدة طرق. ثم سنتقدم إلى مستوى العضو لفحص الحبل الشوكي)الفصل 13(، الدماغ)الفصل 14(، الجهاز العصبي الذاتي)الفصل 15(، وأعضاء الحو اس)الفصل 16(.

نظرة عامة على الجهاز العصبي 12.1

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف الوظيفة العامة للجهاز العصبي؛ و

ب. وصف التقسيمات التشريحية والوظيفية الرئيسية له.

إذا كان الجسم سيحافظ على التوازن الداخلي ويعمل بفعالية، يجب أن تعمل تريليونات خلاياه معًا بطريقة منسقة. إذا تصرفت كل خلية دون اعتبار لما تفعله الخلايا الأخرى، فإن النتيجة ستكون فوضى فسيولوجية وموت. لدينا نظامان عضويان مكرسان ل لحفاظ على التنسيق الداخلي—نظام الغدد الصماء)انظر الفصل 17(، الذي يتواصل عن طريق الهرمونات التي تفرز في الدم، ونظام العص بي)الشكل 12.1(، الذي يستخدم الخلايا العصبية)خلايا الأعصاب(لإرسال الرسائل بسرعة من خلية إلى أخرى بوسائل كهربائية وكيميائية.

يقوم الجهاز العصبي بمهمة التنسيق في ثلاث خطوات أساسية:)1(يستقبل معلومات عن التغيرات في الجسم والبيئة الخارجية)الم حفزات(وينقل الرسائل إلى الجهاز العصبي المركزي)CNS(.)2(يعال ج الجهاز العصبي المركزي هذه المعلومات ويحدد الاستجابة المناس بة، إن وجدت، للظروف.)3(يصدر الجهاز العصبي المركزي أوامر بش كل رئيسي إلى خلايا العضلات والغدد لتنفيذ هذه الاستجابات.

لدى الجهاز العصبي قسمان تشريحيان رئيسيان)الشكل 12.2(:

- يتكون الجهاز العصبي المركزي)CNS(من الدماغ والحبل ال شوكي، اللذين يُحاطان ويحميان بواسطة الجمجمة وعمود الفق رات، على التوالي. يقوم الجهاز العصبي المركزي بمعظم وظائف اتخاذ القرار في الجهاز العصبي.

الجسدية، والحشوية. هذه مجرد مصطلحات للراحة، مع ذلك. هناك ن
طام عصبي واحد فقط، وهذه الأنظمة الفرعية هي أجزاء مترابطة من ا
لكل.

ل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

1. ما هو المستقبل؟ كيف يختلف المستقبل عن المؤثر؟ أعط مثالين لكل منهما.
2. ميز بين الجهاز العصبي المركزي والطرفي، وبين الأقسام الحشو ية والجسدية من أنظمة الحس والحركة.
3. ما هو الاسم الآخر للجهاز العصبي الحركي الحشوي؟ ما هي تقسيماته الثلاث؟ وما هي وظائفها؟

تركيب ووظيفة العصبونات 12.2

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

a. وصف ثلاث خصائص وظيفية موجودة في جميع العصبونات؛
ب. تعريف الفئات الوظيفية الأساسية الثلاث للخلايا العصبية؛
ج. تحديد أجزاء الخلية العصبية؛
د. وصف أربع فئات هيكلية للخلايا العصبية؛ و
هـ. شرح كيفية نقل الخلايا العصبية للمواد بين جسم الخلية ونهايات ا لمحور العصبي.

12.2أ الخصائص العامة

تمتلك الخلايا العصبية ثلاث خصائص فسيولوجية أساسية تمكنها م ن التواصل مع الخلايا الأخرى:

1. الاستثارة.جميع الخلايا قابلة للاستثارة — أي أنها تستجيب للمح فزات. تظهر الخلايا العصبية هذه الخاصية بأعلى درجة.
2. التوصيل.تستجيب الخلايا العصبية للمحفزات بإنتاج إشارا ت كهربائية تُنقل بسرعة إلى خلايا أخرى في مواقع بعيدة.
3. الإفراز.عندما تصل الإشارة إلى نهاية المحور العصبي، تفرز الخ لية العصبية *ناقلًا عصبيًا* يعبر الفجوة ويحفز الخلية التالية.

▶▶▶ طبق ما تعرفه

ما هي الخصائص الفسيولوجية الأساسية التي يشترك فيها كل م ن الخلية العصبية والخلية العضلية؟ اذكر خاصية فسيولوجية لكل منهما لا يمتلكها الآخر.

12.2ب الفئات الوظيفية

هناك ثلاث فئات وظيفية من الخلايا العصبية)الشكل 12.3(تتوافق مع الخطوات الأساسية الثلاث في وظيفة الجهاز العصبي المذكورة سابقًا:

1. الخلايا العصبية الحسية)الواردة(متخصصة في اكتشاف المحفزات مثل الضوء، والحرارة، والضغط، والمواد الكيميائية، وتنقل المعلومات عنها إلى الجهاز العصبي المركزي. تبدأ هذه الخلايا العصبية في معظم

- يتكون الجهاز العصبي الطرفي)PNS(من كل الباقي؛ فهو مكوّ ن من الأعصاب والعقد العصبية. العصب هو حزمة من أليا ف الأعصاب)المحاور العصبية(ملفوفة في نسيج ضام ليفي. تخرج الأعصاب من الجهاز العصبي المركزي)CNS(عبر الثقوب في الجم جمة والعمود الفقري وتحمل الإشارات إلى ومن أعضاء الجسم الأخرى. العقدة العصبية)جمعها: العقد العصبية(هي تورم يش به العقدة في العصب حيث تتركز أجسام الخلايا العصبية في ا لجهاز العصبي الطرفي.

ينقسم الجهاز العصبي الطرفي وظيفيًا إلى قسمين: الحسي والح ركي، وينقسم كل منهما بدوره إلى فرعين: الجسدي والحي.

- يحمل القسم الحسي)الواصل(الإشارات من مستقبلات مخ تلفة)أعضاء الحس ونهايات الأعصاب الحسية البسيطة(إلى الجه از العصبي المركزي. تُعلم هذه المسارات الجهاز العصبي المركز ي بالمحفزات داخل الجسم وحوله.
  - يحمل القسم الحسي الجسدي الإشارات من المستقبلا ت في الجلد والعضلات والعظام والمفاصل.
  - يحمل القسم الحسي الحي الإشارات بشكل رئيسي من ا لأحشاء في تجاويف الصدر والبطن، مثل القلب والرئتين وا لمعدة والمثانة البولية.
- يحمل القسم الحركي)الصادر(الإشارات من الجهاز العصبي المر كزي بشكل رئيسي إلى خلايا الغدد والعضلات التي تنفذ استج ابات الجسم. تُسمى الخلايا والأعضاء التي تستجيب لهذه الإشار ات بالمؤثرات.
  - يحمل القسم الحركي الجسدي الإشارات إلى العضلات الهيكل ية. ينتج عن ذلك انقباضات عضلية إرادية بالإضافة إلى ردود فعل تلقائية.
  - يحمل القسم الحركي الحي)الجهاز العصبي الذاتي، ANS(الإ شارات إلى الغدد والعضلات القلبية والعضلات الملساء. عاد ةً لا نتحكم إراديًا في هذه المؤثرات، ويعمل الجهاز العص بي الذاتي على مستوى لا واعٍ. تُسمى استجابات الجهاز الع صبي الذاتي ومؤثراته بردود الفعل الحشوية. للجهاز العص بي الذاتي ثلاثة أقسام فرعية أخرى:
    - يميل القسم الودي إلى إثارة الجسم للعمل — على سبي ل المثال، عن طريق تسريع ضربات القلب وزيادة تدفق ا لهواء التنفسي — لكنه يثبط الهضم ويقلل من إنتاج البول.
    - يميل القسم اللاودي إلى إحداث تأثير مهدئ — مثل إبطاء ضربات القلب — لكنه يحفز الهضم.

•شبكة معوية واسعة النطاق، تقع في جدار الجهاز الهضمي ، وتتكون من عدد من الخلايا العصبية أكثر من الحبل ال شوكي. تتيح هذه النظام لمناطق مختلفة من الجهاز اله ضمي الطويل التواصل وتنسيق حركتها وإفرازاتها، كما هو موضح في الفصول اللاحقة)القسم 15.2 د و25.1ب(.

قد تعطي المصطلحات السابقة الانطباع بأن لدينا عدة أنظمة عصبية—المركزية، الطرفية، الحسية، الحركية،

---

[1]عقدة = عقدة
[2]أف = أد = نحو؛ فير = يحمل
[3]سومات = جسم؛ إيك = متعلق بـ
[4]إف = إكس = خارج، بعيد؛ فير = يحمل
[5]أوتو = ذاتي؛ نوم = قانون، حكم

نواة تحتوى على نوية كبيرة. يحتوى السيتوبلازم على الميتوكوندريا، الليسوسومات، مجمع جولجى، العديد من المحتويات، وشبكة إندوبلازمية خشنة واسعة وهيكل خلوى. يتكون الهيكل الخلوى من شبكة كثيفة من الأنابيب الدقيقة و الأعصاب-الألياف)حزم من خيوط الأكتين(، التى تقسم الشبكة الإندوبلازمية الخشنة إلى مناطق داكنة التلوين تُسمى الكروماتوفيلية[8] المادة الفرعية)الشكل 12.4هـ(. هذا فريد من نوعه للخلايا العصبية وهو دليل مفيد للتعرف عليها فى مقاطع الأنسجة التى تحتوى على أنواع خلايا مختلطة.

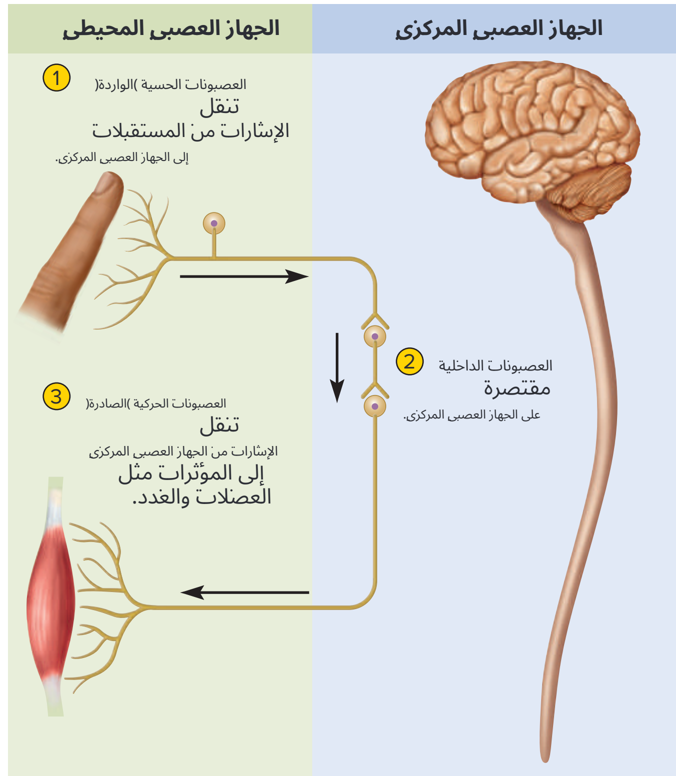
لا تحتوى الخلايا العصبية الناضجة على سنتريولات ولا يمكنها الخضوع لأى انقسام خلوى إضافى بعد فترة المراهقة. ونتيجة لذلك، فإن الخلايا العصبية التى تموت عادةً ما تكون غير قابلة للاستبدال؛ حيث لا يمكن للخلايا العصبية الباقية أن تتكاثر لتحل محل الخلايا المفقودة. ومع ذلك، فإن الخلايا العصبية هى خلايا طويلة العمر بشكل غير عادى، قادرة على العمل لأكثر من مئة عام. ومن التأثيرات المثيرة لطبيعة الخلايا العصبية غير الانقسامية أنه، على الرغم من أنها تخضع لتغيرات مستقلة فى حمضها النووى خلال تطور الدماغ المبكر، إلا أنها لا تستطيع تمرير هذه الطفرات إلى أى خلايا عصبية ابنة. ونتيجة لذلك، هناك تنوع جينى كبير من خلية عصبية إلى أخرى، خاصة فى الدماغ — وهى حالة تُسمى *الفسيفساء الجينية* . تختلف بشكل كبير فى تسلسل النيوكليوتيدات وحتى فى عدد الكروموسومات. يعتقد علماء الأعصاب أنه لا يوجد خليتان عصبيتان فى الدماغ متطابقتان جينيًا، ويقوم الباحثون الآن بدراسة هذا الأمر بحثًا عن أدلة على وظائف الدماغ والأمراض العصبية.

تشمل المحتويات الرئيسية فى جسم الخلية حبيبات الجليكوجين، قطرات الدهون، الميلانين، وصبغة بنية ذهبية تُسمى *الليبو- فوسين*[9])LIP-oh-FEW-sin(، التى تُنتج عندما تقوم الليسوسومات بتحليل العُضيّات التالفة ومنتجات أخرى. يتراكم الليبوفوسين مع التقدم فى العمر ويدفع النواة إلى جانب واحد من الخلية. تُعرف حبيبات الليبوفوسين أيضًا باسم "حبيبات التآكل والتمزق" لأنها تكون أكثر وفرة فى الخلايا العصبية القديمة. وترتبط أيضًا ببعض الأمراض التنكسية مثل التنكس البقعى للعين والتصلب الجانبى الضمورى)ALS).

معظم الخلايا العصبية لها امتدادات تُسمى الزوائد العصبية تمتد إلى خلايا أخرى. معظم هذه هى التغصنات[10]— وسُميت بهذا الاسم بسبب تشابهها اللافت مع فروع الشجرة العارية فى الشتاء. التغصنات هى المواقع الأساسية لاستقبال الإشارات من الخلايا العصبية الأخرى. بعض الخلايا العصبية لديها شوكة عصبية واحدة فقط وبعضها لديها آلاف. كلما زاد عدد التشعبات العصبية فى العصبون، زادت كمية المعلومات التى يمكنه استقبالها ودمجها فى عملية اتخاذ القرار. وعلى الرغم من أن التشعبات قد تبدو متشابكة، إلا أنها توفر مسارات دقيقة للغاية لاستقبال ومعالجة المعلومات العصبية.

على جانب واحد من جسم الخلية يوجد نتوء يسمى تلة المحور العصبى)axon hillock(، والتى تنشأ منها زائدة عصبية وحيدة تسمى المحور العصبى)axon(أو الليف العصبى. المحور العصبى أسطوانى وشبه غير متفرع لمعظم طوله، رغم أنه قد ينبثق منه بعض الفروع الصغيرة المسماة الفروع الجانبية للمحور العصبى)axon collaterals(بالقرب من جسم الخلية، وتتفرع معظم المحاور العصبية بشكل واسع عند نهايتها البعيدة. المحور العصبى متخصص فى النقل السريع للإشارات العصبية إلى نقاط بعيدة عن جسم الخلية. يُسمى سائله الخلوى السيتوبلازم المحورى)axoplasm(وغشاءه غشاء المحور العصبى)axolemma(. لا يمتلك العصبون أكثر من محور عصبى واحد، وبعض العصبونات لا تمتلك أى محور عصبى.

تتراوح أقطار أجسام الخلايا العصبية بين ٥ إلى ٥٣١ ميكرومتر، وأقطار المحاور العصبية بين ١ إلى ٢٠ ميكرومتر، وطولها من بضعة مليمترات إلى



الشكل 12.3 الفئات الوظيفية الثلاث للعصبونات.يمكن تصنيف جميع العصبونات إلى حسية، حركية، أو عصبونات داخلية اعتمادًا على موقعها واتجاه نقل الإشارة.

فى كل عضو من أعضاء الجسم وتنتهى فى الجهاز العصبى المركزى؛ تشير كلمة وارد إلى توصيل الإشارة نحو الجهاز العصبى المركزى. بعض المستقبلات، مثل تلك الخاصة بالألم والشم، هى خلايا عصبية بحد ذاتها. فى حالات أخرى، مثل التذوق والسمع، يكون المستقبل خلية منفصلة تتواصل مباشرة مع خلية عصبية حسية.

2 الخلايا العصبية البينية تقع بالكامل داخل الجهاز العصبى المركزى. تستقبل إشارات من العديد من الخلايا العصبية الأخرى وتقوم بالوظيفة التكاملية للجهاز العصبى — أى أنها تعالج، تخزن، وتسترجع المعلومات و"تتخذ قرارات" تحدد كيفية استجابة الجسم للمحفزات. حوالى 90% من خلايانا العصبية هى خلايا عصبية بينية. تشير كلمة *الخلية العصبية البينية* إلى حقيقة أنها تقع بين وتربط بين مسارات الإحساس الواردة ومسارات الحركة الصادرة فى الجهاز العصبى المركزى.

3 تُرسل الخلايا العصبية الحركية)الصادرة(الإشارات بشكل رئيسى إلى خلايا العضلات والغدد، وهى الخلايا المنفذة. وتُسمى هذه الخلايا العصبية أيضًا بالخلايا العصبية الحركية لأن معظمها يؤدى إلى خلايا العضلات، وبالخلايا العصبية الصادرة للدلالة على توصيل الإشارة بعيدًا عن الجهاز العصبى المركزى.

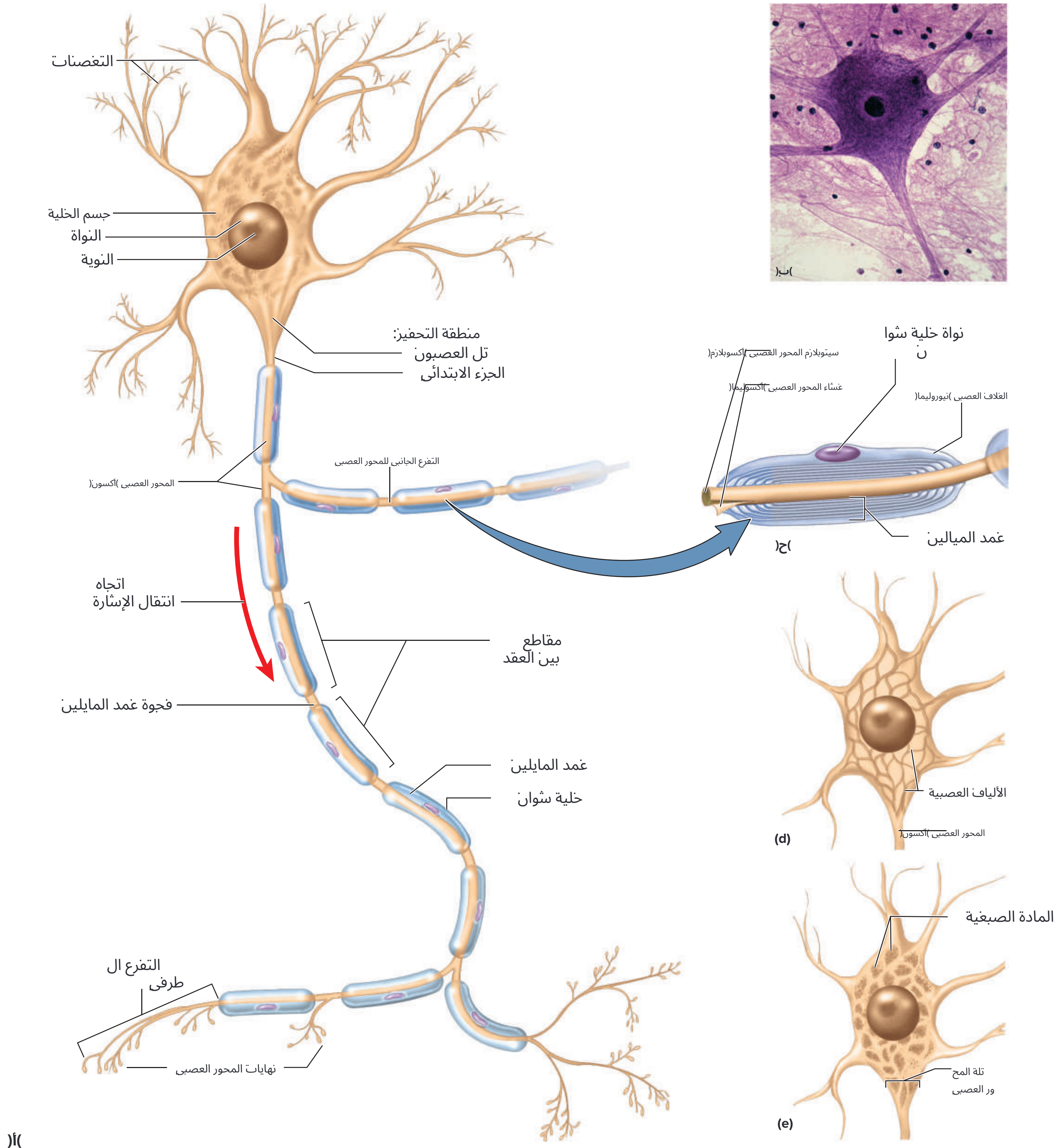
12.2ح تركيب العصبون

هناك عدة أنواع من الخلايا العصبية، ولكن نقطة انطلاق جيدة للنقاش هى العصبون الحركى فى الحبل الشوكى)الشكل 12.4(. مركز التحكم فى العصبون يُسمى جسم الخلية)أحيانًا نيوروسوما، *سوما*[6]، أو *بيريكاريون*[7](. يقع فى مركزه

---

[6] *سوما* = الجسم
[7] *بيرى* = حول، محيط؛ *كاريو* = النواة

[8] *كروماتو* = اللون؛ *فيليك* = محب، جذاب
[9] *ليبو* = دهن، دهن؛ *فوسك* = داكن، بنى
[10] *دَندر* = شجرة، فرع؛ *إيت* = صغير
[11] *أكسو* = محور، محور عصبى؛ *ليما* = قشرة، قشر، غلاف



الشكل 12.4 التركيب العام للعصبون.)أ(تركيب عصبون متعدد الأقطاب مثل العصبون الحركى الشوكى.)ب(صورة لهذا النوع من العصبونات.)ح(تفصيل غمد المايلين.)د(الألياف العصبية لجسم الخلية.)هـ(المادة الكروماتوفيلية، كتل مصبوغة من الشبكة الإندوبلازمية الخشنة مفصولة بواسطة حزم الألياف العصبية الموضحة فى الجزء)د(. انظر القسم 12.3ب لوصف غمد المايلين.

ب: ©إد ريشكى

أكثر من متر واحد.)فى الحوت الأزرق العظيم، يمكن أن يكون طول خ لية عصبية واحدة أكثر من 30 مترًا، أو 100 قدم. وهناك مرشح آخر لل طول الاستثنائى وهو الخلايا العصبية للعصب الحنجرى المتكرر فى ر قبة الزرافة، التى يبلغ طولها 4.6 متر]15 قدم[.(تصبح أبعاد الخلية الع صبية البشرية أكثر إثارة للإعجاب عندما نقارنها بحجم أشياء مألوفة. إذ ا كان جسم الخلية لخلية عصبية حركية شوكية بحجم كرة تنس، فإن ا لتشعبات الشجرية لها ستشكل كتلة كثيفة يمكن أن تملأ صفًا دراسيًا مكونًا من 30 مقعدًا من الأرض إلى السقف. سيكون المحور العصبى بطول يصل إلى ميل واحد ولكنه أضيق قليلاً من خرطوم حديقة. هذا أ مر يستحق التفكير. يجب على الخلية العصبية تجميع الجزيئات والع ضيات فى "جسم الخلية" بحجم كرة التنس وتسليمها عبر "خرطوم الح ديقة بطول الميل" إلى نهاية المحور العصبى. كيف تحقق هذه المهمة الرائعة سيتم شرحه قريبًا.

فى الطرف البعيد، عادةً ما يكون للمحور العصبى **terminal arborization**[12]—مجموعة معقدة وواسعة من الفروع الدقيقة. ينتهى كل فرع فى تكور محورى (terminal bouton)[13]،(الذى يشكل تقاطعًا يسمى المشبك العصبى مع الخلية التالية فى مسار الإشارة.

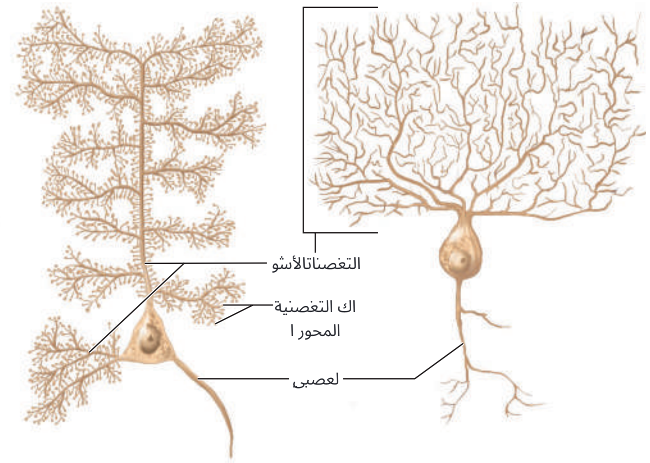
ليست كل الخلايا العصبية تتناسب مع الوصف السابق. تُصنف الخلايا العصبية هيكليًا وفقًا لعدد العمليات الممتدة من جسم الخلية)الشكل 12.5(:

- الخلايا العصبية متعددة الأقطاب هى تلك التى، مثل السابقة، لديها محور عصبى واحد وعدة تشعبات شجرية. هذا هو النوع الأكثر شيوعًا ويشمل معظم خلايا الدماغ والحبل الشوكى.
- الخلايا العصبية ثنائية القطب لديها محور عصبى واحد وتشعبة شجرية واحدة. تشمل الأمثلة خلايا الشم فى الأنف، وبعض خلايا الشبكية، والخلايا العصبية الحسية فى الأذن.
- الخلايا العصبية أحادية القطب لديها عملية واحدة فقط تمتد بعيدًا عن جسم الخلية . تمثلها الخلايا العصبية التى تنقل الإشارات إلى الحبل الشوكى للحواس مثل اللمس والألم. وتسمى أيضًا كاذبة الأحادية القطب لأنها تبدأ كخلايا ثنائية القطب فى الجنين، لكن عمليتيها تندمجان إلى واحدة مع نضوج الخلية العصبية. على مسافة قصيرة من جسم الخلية ، تتفرع العملية مثل حرف T إلى عملية طرفية و عملية مركزية.

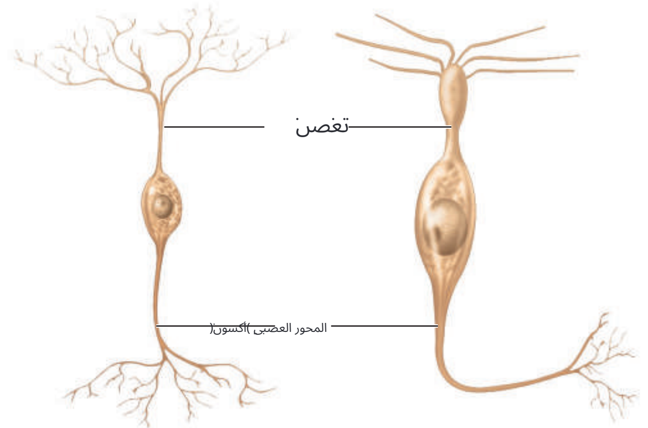
تبدأ العملية الطرفية بنهاية حسية غالبًا ما تكون بعيدة عن جسم الخلية — فى الجلد، على سبيل المثال. تنتقل إشاراتها نحو جسم الخلية ، لكنها تتجاوزه وتستمر على طول العملية المركزية لمسافة قصيرة متبقية إلى الحبل الشوكى. تعتبر التشعبات الشجرية فقط النهايات الاستقبالية القصيرة. بقية العملية، الطرفية والمركزية، هى المحور العصبى، الذى يتميز بوجود الميالين والقدرة على توليد جهد الفعل.

- الخلايا العصبية عديمة المحور لديها عدة تشعبات شجرية ولكن لا تحتوى على محور عصبى. تتواصل محليًا من خلال تشعباتها الشجرية ولا تنتج جهود فعل. توجد بعض الخلايا العصبية عديمة المحور فى الدماغ، والشبكية، ونخاع الغدة الكظرية. فى الشبكية، تساعد فى العمليات البصرية مثل إدراك التباين.

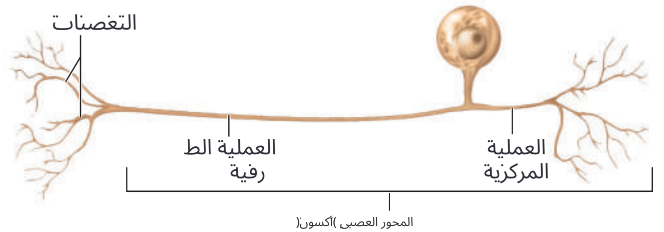
[12] *arbor* = شجرة
[13] *bouton* = مقبض، زر)فرنسى(



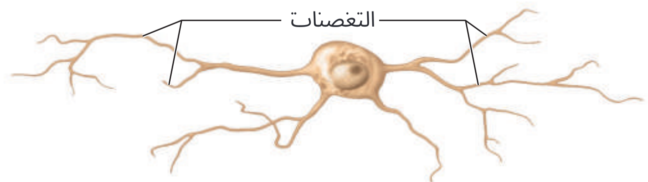
)أ(خلايا عصبية متعددة الأقطاب



)ب(خلايا عصبية ثنائية القطب



)ح(العصبون احادى القطب



)د(العصبون عديم المحور

الشكل 12.5 الفئات الهيكلية للخلايا العصبية.)أ(خليتان متعددتا الأقطاب فى الدماغ—خلية هرمية)يسار(وخلية بوركنجى.)ب(خليتان ثنائيتا القطب—خلية ثنائية القطب فى الشبكية)يسار(وخلية عصبية شمية.)ح(خلية عصبية أحادية القطب من النوع المتعلق بحواس اللمس والألم.)د(خلية عصبية عديمة المحور—خلية أماكرين فى الشبكية.

المكونات المحورية فى الخلايا العصبية الناضجة، وتزوّد المحور العصبى الجديد للخلايا العصبية النامية أو المتجددة. تتجدد الأعصاب التالفة بسرعة تحكمها النقل المحورى البطىء.

طبق ما تعرفه ◀◀◀

محور العصبون يحتوى على هيكل خلوى كثيف. بالنظر إلى وظائف الهيكل الخلوى التى نوقشت فى القسم 3.4a، قدم سببين يوضحان لماذا هذا مهم جدًا لبنية ووظيفة العصبون.

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

4. ارسم عصبون متعدد الأقطاب وقم بتسمية جسم الخلية، التغصنات، المحور العصبى، التشعب الطرفى، نهايات المحور العصبى، وغطاء الميالين.
5. اشرح الفروقات بين العصبون الحسى، العصبون الحركى، والعصبون البينى.
6. ما الفرق الوظيفى بين التغصن والمحور العصبى؟
7. كيف تصل البروتينات والمواد الكيميائية الأخرى التى تُصنع فى جسم الخلية إلى نهايات المحور العصبى؟ بأى عملية يمكن لفيروس يغزو الطرف البعيد للمحور العصبى أن يصل إلى جسم الخلية لذلك العصبون؟

12.3 الخلايا الداعمة

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

a. اذكر الأنواع الستة من الخلايا التى تساعد الخلايا العصبية، وبيّن وظائفها respective؛
ب. وصف غمد الميالين الموجود حول بعض المحاور العصبية، و شرح أهميته؛
ج. وصف العلاقة بين المحاور العصبية غير الميالينية وخلاياها الداعمة؛ و
د. شرح كيفية تجدد المحاور العصبية التالفة.

يوجد حوالى 86 مليار خلية عصبية فى دماغ البالغين، وعدد مماثل تقريبًا من الخلايا الداعمة غير العصبية التى تُسمى الخلايا العصبية الدبقية (neuroglia) أو الخلايا الدبقية (glial cells). تحمى الخلايا الدبقية الخلايا العصبية وتساعدها على الأداء. كلمة "غليا" التى تعنى "الغراء" تشير إلى أحد أدوارها وهو ربط الخلايا العصبية معًا وتوفير إطار داعم للنسيج العصبى. فى الجنين، تشكل هذه الخلايا هيكلًا إرشاديًا يوجه الخلايا العصبية الشابة المهاجرة إلى وجهاتها. حيثما لا تكون الخلية العصبية الناضجة على اتصال تشابكى مع خلية أخرى، فإنها تكون مغطاة بالخلايا الدبقية. هذا يمنع الخلايا العصبية من الاتصال ببعضها البعض إلا فى نقاط متخصصة لنقل الإشارات، مما يمنح دقة لمسارات توصيلها.

12.2د النقل المحورى

يجب تصنيع جميع البروتينات التى يحتاجها العصبون فى جسم الخلية، حيث يقع "مصنع البروتين" — النواة، الريبوسومات، والشبكة الإندوبلازمية الخشنة. ومع ذلك، فإن العديد من هذه البروتينات مطلوبة فى المحور العصبى، على سبيل المثال لإصلاح وصيانة غشاء المحور العصبى (الأكسوليمة)، أو لتعمل كقنوات أيونية فى الغشاء، أو لتؤدى دور الإنزيمات وجزيئات الإشارة فى نهاية المحور العصبى. كما تُنقل مواد أخرى من نهايات المحور العصبى إلى جسم الخلية للتخلص منها أو لإعادة تدويرها. يُسمى المرور ذهابًا وإيابًا للبروتينات، العضيات، والمواد الأخرى على طول المحور العصبى بالنقل المحورى. الحركة بعيدًا عن جسم الخلية نزولًا على طول المحور العصبى تُسمى النقل الأمامى[14] والحركة صعودًا على طول المحور نحو جسم الخلية تُسمى النقل العكسى.[15]

تسافر المواد على طول الأنابيب الدقيقة المحورية التى تعمل كمسارات أحادية لتوجيهها إلى وجهتها. ولكن ما هو "المحرك" الذى يدفعها على هذه المسارات؟ يستخدم النقل الأمامى بروتينًا حركيًا يُدعى *كينيسين*[16] بينما يستخدم النقل العكسى بروتينًا يُدعى *داينين*[17] (وهو نفس البروتين المسؤول عن حركة الأهداب والأسواط). تحمل هذه البروتينات المواد "على ظهورها" بينما تمتد، مثل رؤوس الميوسين فى العضلات الموضحة فى الفصل 11، لترتبط مرارًا وتكرارًا بالأنابيب الدقيقة وتمشى عليها.

هناك نوعان من النقل المحورى: سريع وبطىء.

1. النقل المحورى السريع يحدث بمعدل 200 إلى 400 ملم/يوم وقد يكون إما أماميًا أو عكسيًا:

- *النقل الأمامى السريع* ينقل الميتوكوندريا؛ الحويصلات الشبكية؛ العضيات الأخرى؛ مكونات الأكسوليمة؛ أيونات الكالسيوم؛ الإنزيمات مثل أستيل كولين إستراز؛ والجزيئات الصغيرة مثل الجلوكوز، الأحماض الأمينية، والنيوكليوتيدات نحو الطرف البعيد للمحور العصبى.
- *النقل العكسى السريع* يعيد الحويصلات المشبكية المستخدمة والمواد الأخرى إلى جسم الخلية ويُعلمه بحالة نهايات المحور العصبى. تستغل بعض العوامل الممرضة هذه العملية لغزو الجهاز العصبى. تدخل إلى أطراف المحور العصبى البعيدة وتسافر إلى جسم الخلية عبر النقل العكسى. من الأمثلة على ذلك سم التيتانوس وفيروسات الهربس البسيط، داء الكلب، وشلل الأطفال. فى مثل هذه العدوى، يتوافق التأخير بين الإصابة وظهور الأعراض مع الوقت اللازم لوصول العوامل الممرضة إلى أجسام الخلايا.

٢. النقل المحورى البطىء هو عملية أمامية الحركة تعمل بطريقة التوقف والانطلاق. إذا قارنا النقل المحورى السريع بقطار سريع يسير بلا توقف إلى وجهته، فإن النقل المحورى البطىء يشبه القطار المحلى الذى يتوقف عند كل محطة. عند الحركة، يسير بنفس سرعة القطار السريع، لكن التوقفات المتكررة تؤدى إلى تقدم إجمالى يبلغ فقط من ٢.٠ إلى ٥.٠ ملم/يوم. ينقل الإنزيمات ومكونات الهيكل الخلوى على طول المحور العصبى، ويجدد الأجزاء التالفة

[14] *antero* = إلى الأمام؛ *grad* = المشى، الخطوة
[15] *retro* = إلى الخلف؛ *grad* = المشى، الخطوة
[16] *kines* = الحركة؛ *in* = بروتين
[17] *dyne* = القوة؛ *in* = بروتين

أنواع الخلايا الدبقية	الجدول 12.1
أنواع	**الوظائف**
الخلايا الدبقية المركزية	
الخلايا قليلة التغصن)أوليغوديندروسايتس(	تكوّن الميالين في الدماغ والحبل الشوكي
الخلايا البطانية)إبينديمال(	تبطن تجاويف الدماغ والحبل الشوكي؛ تفرز وتدوّر ال سائل الدماغي الشوكي
الميكروغليا	تبتلع وتدمر الكائنات الدقيقة، والمواد الغريبة، وا لأنسجة العصبية الميتة
الخلايا النجمية)أستروسايتس(	تغطي سطح الدماغ والمناطق غير المشبكية من الخ لايا العصبية؛ تشكل إطارًا داعمًا في الجهاز الع صبي المركزي؛ تحفز تكوين الحاجز الدموي ا لدماغي؛ تغذي الخلايا العصبية؛ تنتج عوامل نمو تحفز الخلايا العصبية؛ تعزز تكوين المشابك والدارا ت العصبية؛ تتواصل كهربائيًا مع الخلايا العصبية وقد تؤثر على الإشارات المشبكية؛ تزيل أيونات K^+ وبعض الناقلات العصبية من السائل خارج الخ لوي في الدماغ والحبل الشوكي؛ تساعد في تنظيم تركيبة السائل خارج الخلوي؛ تشكل نسيج ندبي ليح ل محل الأنسجة العصبية التالفة
الخلايا الدبقية الطرفية	
خلايا شوان	تشكل الغلاف العصبي حول جميع محاور الجهاز العص بي المحيطي والغمد الميالينى حول معظمها؛ تساعد في تجديد الأعصاب التالفة
الخلايا القمرية	تحيط بأجسام خلايا العصبونات في العقد العصبية ؛ توفر عزلًا كهربائيًا وتنظم البيئة الكيميائية للع صبونات

12.3أ أنواع الخلايا الدبقية العصبية

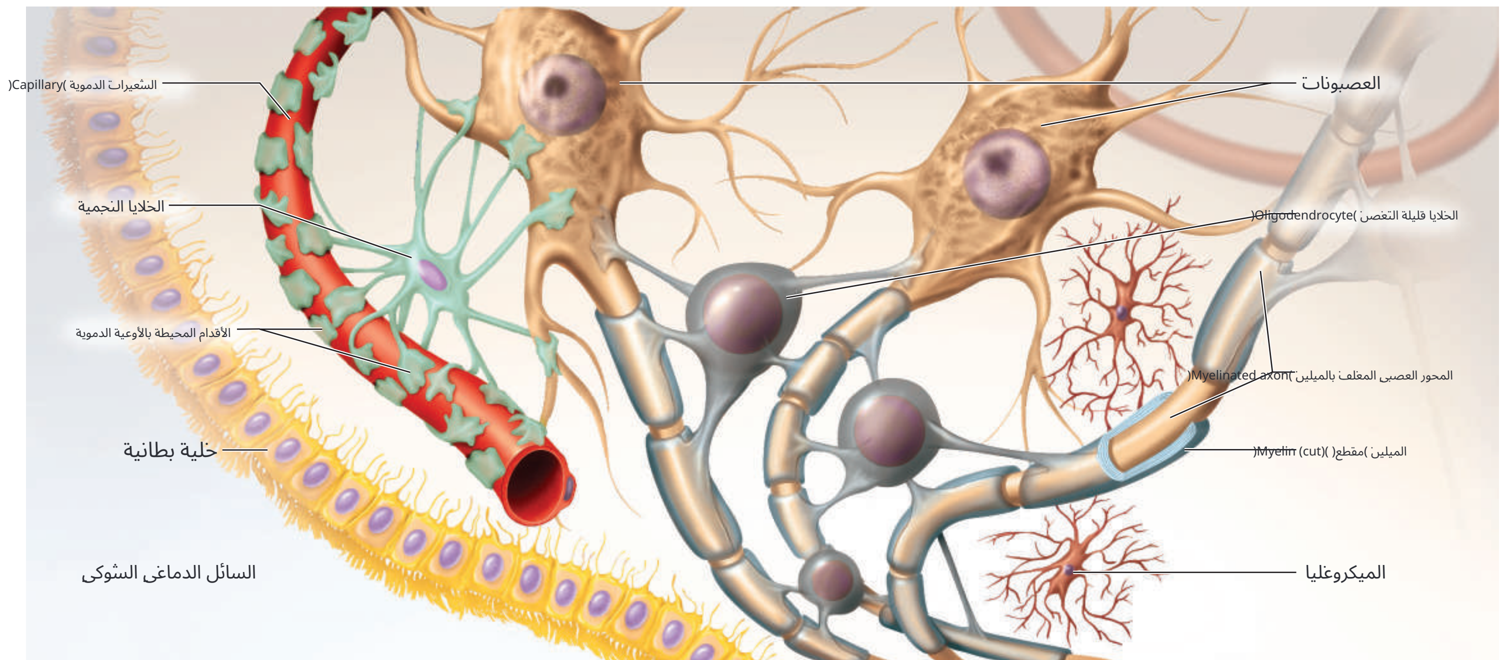
هناك ستة أنواع من الخلايا الدبقية العصبية، لكل منها وظيفة فريدة)الجدول 12.1(. الأربعة الأولى، المسماة *خلايا الدبق المركزية*، توجد فقط في الجهاز العصبي المركزي)الشكل 12.6(:

1. الخلايا قليلة التغصن[18])OL-ih-go-DEN-dro-sites(تش به إلى حد ما الأخطبوط؛ لها جسم منتفخ مع ما يصل إلى 15 ذراعًا. كل ذراع تمتد إلى محور عصبي وتلتف حوله مثل شر يط كهربائي ملفوف مرارًا حول سلك. هذا الالتفاف، المسمى غ مد *الميالين*، يعزل المحور العصبي عن السائل خارج الخلوي ويسرع من توصيل الإشارة في المحور العصبي.

2. خلايا البطانية[19])ep-EN-dih-mul(تشبه الطهارة الم كعبة التي تبطن تجاويف الدماغ والحبل الشوكي الداخلية. ومع ذلك، وعلى عكس الخلايا الطهارية الحقيقية، فهي لا تمتلك غشا ء قاعدي وتطور عمليات جذرية تخترق النسيج الأساسي وترتبط بخلايا أخرى.
تنتج خلايا البطانية *السائل الدماغي الشوكي)CSF(*، وهو سائل يغمر ا لجهاز العصبي المركزي ويملأ تجاويفه الداخلية. لديها بقع من الأهدا ب على أسطحها القمية تساعد في تدوير السائل الدماغي الشوكي. تُناقش خلايا البطانية والسائل الدماغي الشوكي بمزيد من التفصيل في الفصل 14.

3. الخلايا الصغيرة)الميكروغليا(هي بلعميات صغيرة تتطور من خلايا الدم البيضاء المسماة الوحيدات. تتجول في الجهاز ال عصبي المركزي، مطلقة امتدادات تشبه الأصابع لفحص الن سيج باستمرار بحثًا عن حطام خلوي أو مشاكل أخرى. هي

[18] *أوليغو* = قليل؛ *ديندرو* = فروع؛ *سايت* = خلية
[19] *إبينديما* = الثوب العلوي



الشكل 12.6 الدبق العصبي للجهاز العصبي المركزي.

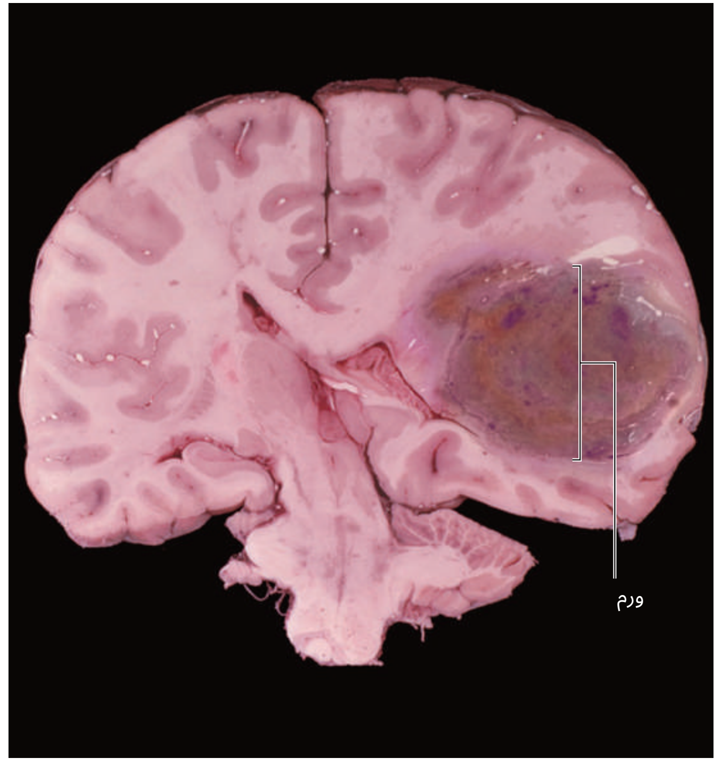


نظرة أعمق 12.1

تطبيق سريرى

الخلايا الدبقية وأورام الدماغ

الورم يتكون من كتلة من الخلايا التى تنقسم بسرعة. ومع ذلك، فإن الخلايا العصبية ا لناضجة لديها قدرة قليلة أو معدومة على الانقسام النسيجى ونادرًا ما تشكل أورامًا. تنشأ بعض أورام الدماغ من السحايا)الأغشية الواقية للجهاز العصبى المركزى(أو تنشأ عن طريق الانبثاث من أورام فى أماكن أخرى، مثل الورم الميلانينى الخبيث و سرطان القولون. ومع ذلك، فإن معظم أورام الدماغ لدى البالغين تتكون من خلايا دبقية، التى تكون نشطة انقساميًا طوال الحياة. تسمى هذه الأورام الأورام الدبقية[2])الشكل 12.7(. عادة ما تنمو الأورام الدبقية بسرعة وتكون شديدة الخباثة. وبسبب الحاجز الدموى الدماغى، تقاوم أورام الدماغ العلاج الكيميائى ويجب علاجها با لإشعاع أو الجراحة.



الشكل 12.7 ورم دماغى. مقطع أمامى للدماغ يظهر وجود ورم دبقى كبير فى نصف الكرة المخية الأيسر.
CNRI/Science Source

يُعتقد أنها تقوم بإجراء فحص كامل لأنسجة الدماغ عدة مرات فى ا ليوم، حيث تبتلع الأنسجة الميتة، والكائنات الدقيقة، والمواد الغريبة الأخرى. وتتركز فى المناطق التى تضررت بسبب العدوى أو الصدمة أو السكتة الدماغية. يبحث علماء الأمراض عن تجمعات من الخلايا الصغيرة)الميكروغليا(فى أنسجة الدماغ كدليل على مواقع الإصابة أو التنكس. كما تساعد الميكروغليا فى إعادة تشكيل المشابك العصبية، وتغيير الاتصالات بين الخلايا العصبية.

4. الخلايا النجمية[20] هى أكثر الخلايا الدبقية وفرة فى الجهاز العصبى المركزى وتشكل أكثر من 90% من النسيج فى بعض مناطق الدماغ. تغطى كامل سطح الدماغ ومعظم المناطق غير الم شبكية من الخلايا العصبية فى المادة الرمادية. سُميت بهذا الاسم لشكلها المتفرع الكثيف الذى يشبه النجمة إلى حد ما. لها أكثر الوظائف تنوعًا بين جميع الخلايا الدبقية:

- تشكل إطارًا داعمًا للنسيج العصبى.
- لها امتدادات تسمى *أقدام محيطية للأوعية الدموية* التى تتصل بالشعيرات الدموية وتحفزها على تكوين ختم محكم ووقائى يسمى *الحاجز الدموى الدماغى*)انظر الفصل 14(.
- تراقب نشاط الخلايا العصبية، وتحفز توسع وتضيق الأوعية الدموية، وبالتالى تنظم تدفق الدم فى نسيج الدماغ لتلبية الاحتياجات المتغيرة من الأكسجين والمواد المغذية.
- تحول جلوكوز الدم إلى لاكتات وتزود الخلايا العصبية بها للتغذية.
- تفرز *عوامل نمو الأعصاب* التى تنظم تطور الأعصاب)انظر التعمق 12.3(.
- تعزز تكوين المشابك وتضبط الدوائر العصبية بدقة.
- تتواصل كهربائيًا مع الخلايا العصبية وتؤثر على الإشارات المشبكية بينها.
- تنظم تركيب سائل النسيج. عندما تنقل الخلايا العصبية الإشارات، تطلق الناقلات العصبية وأيونات البوتاسيوم. تمتص الخلايا النجمية هذه وتمنع وصولها إلى مستويات مفرطة فى سائل النسيج.
- عندما تتعرض الخلايا العصبية للتلف، تقوم الخلايا النجمية بتكوين نسيج ندبى متصلب وفى النهاية تملأ الفراغ الذى كانت تشغله الخلايا العصبية سابقًا. تُسمى هذه العملية *التصلب النجمى* أو *التصلب*.

الأنواع المتبقية، الموجودة فقط فى الجهاز العصبى الطرفى، تُسمى *خلايا الدبق الطرفية*:

1. خلايا شوان[21])تُنطق "شوان"(، أو الخلايا العصبية الغمدية، تحيط بمحاور الأعصاب فى الجهاز العصبى الطرفى. فى معظم الحالات، تلف خلية شوان المحور العصبى عدة مرات وتنتج غمد المايلين مشابهًا لذلك الذى تنتجه الخلايا قليلة التغصن فى الجهاز العصبى المركزى. هناك بعض الاختلافات المهمة فى إنتاج المايلين بين الجهاز العصبى المركزى والطرفى، والتى سنناقشها لاحقًا. كما تساعد خلايا شوان فى تجديد المحاور العصبية التالفة)انظر القسم 12.3e(.
2. الخلايا القمرية تحيط بأجسام الخلايا العصبية فى العقد العصبية للجهاز العصبى الطرفى. توفر عزلًا حول جسم الخلية وتنظم البيئة الكيميائية للعصبونات.

12.3ب المايلين

غمد المايلين)MY-eh-lin(يتكون من طبقات لولبية من العزل حول المحور العصبى، تتشكل بواسطة خلايا شوان فى الجهاز العصبى الطرفى والخلايا قليلة التغصن فى الجهاز العصبى المركزى. يتكون المايلين من أغشية البلازما لهذه الخلايا الدبقية. مثله مثل هذه الخلايا، يتكون من البروتين والدهون، لكنه يحتوى على بعض الدهون الفريدة.

تسمى عملية إنتاج غمد المايلين التمايلين. تبدأ فى الأسبوع الرابع عشر من تطور الجنين، ومع ذلك بالكاد يوجد أى

[20] أسترو = نجم؛ سايت = خلية
[21] ثيودور شوان)1810–1882(، عالم الأنسجة الألمانى
[22] *جليا* = خلايا جليالية؛ *أوما* = ورم

تسير المحاور العصبية عبر قنوات فردية داخل خلية شوان مشتركة. تحيط طبقة قاعدية كاملة بخلية شوان بأكملها مع محاورها العصبية.

12.3د سرعة توصيل المحاور العصبية

تعتمد سرعة انتقال إشارة العصب على طول المحور العصبى على عاملين: قطر المحور العصبى ووجود أو غياب الميالين. يحدث توصيل الإشارة على سطح المحور العصبى، وليس فى عمق السيتوبلازم المحورى. المحاور العصبية الكبيرة تمتلك مساحة سطح أكبر وتنقل الإشارات بسرعة أكبر من المحاور الصغيرة. كما يسرع الميالين من توصيل الإشارة من خلال آلية سيتم شرحها فى القسم 12.4f.

تنتقل الإشارات العصبية بسرعة تتراوح بين 0.5 إلى 2.0 م/ث فى المحاور العصبية الصغيرة غير المغلفة بالميلين)قطرها 2–4 ميكرومتر(؛ ومن 3 إلى 15 م/ث فى المحاور المغلفة بالميلين ذات الحجم نفسه؛ وسرعتها تصل إلى 120 م/ث)270 ميل/س(فى المحاور الكبيرة المغلفة بالميلين) حتى 20 ميكرومتر فى القطر(. قد يتساءل المرء لماذا ليست كل محاورنا كبيرة ومغلفة بالميلين وسريعة؛ ولكن لو كان الأمر كذلك، لكان نظامنا العصبى ضخمًا بشكل لا يطاق أو محدودًا بعدد أقل بكثير من الخلايا العصبية . تتطلب المحاور الكبيرة أجسام خلايا كبيرة وإنفاقًا كبيرًا للطاقة للحفاظ عليها. سمح تطور الميلين بالتطور اللاحق لأنظمة عصبية أكثر تعقيدًا واستجابة مع خلايا عصبية أصغر وأكثر كفاءة فى استهلاك الطاقة. المحاور غير المغلفة بالميلين والبطيئة كافية تمامًا للعمليات التى لا تتطلب سرعة عالية.



نظرة أعمق 12.2

تطبيق سريرى

أمراض غمد الميلين

التصلب المتعدد ومرض تاى-ساكس هما اضطرابات تنكسية فى غمد الميلين. فى التصلب المتعدد)MS(، تتدهور الخلايا الدبقية قليلة التغصن وأغلفة الميلين فى الجهاز العصبى المركزى ويتم استبدالها بأنسجة ندبية متصلبة، خاصة بين سن 20 و40 عامًا.

يتعطل توصيل الإشارات العصبية، مع تأثيرات تعتمد على الجزء المصاب من الجهاز العصبى المركزى — مثل الرؤية المزدوجة، العمى، عيوب النطق، العصابية، الرعشات، أو التنميل. يمر المرضى بدورات متغيرة من أعراض أخف وأشد حتى يصبحوا فى نهاية المطاف طريحى الفراش. لا يزال سبب التصلب المتعدد غير مؤكد؛ وتشير معظم الفرضيات إلى أنه اضطراب مناعى ذاتى يُثار بواسطة فيروس فى أفراد معرضين وراثيًا. لا يوجد علاج شافٍ. هناك أدلة متضاربة حول مدى تقصير المرض لعمر الشخص، إن حدث ذلك. يموت بعض المرضى خلال سنة من التشخيص، لكن يعيش كثيرون مع المرض لمدة 25 أو 30 سنة.

مرض تاى-ساكس هو اضطراب وراثى يُرى بشكل رئيسى فى الرضع من أصول يهودية شرق أوروبية. ينتج عن تراكم غير طبيعى لجليكوليبيد يسمى GM2)الجانغليوسيد(فى غمد الميلين.

عادةً ما يتحلل GM2 بواسطة إنزيم ليسوزومى، لكن هذا الإنزيم مفقود لدى الأشخاص الذين يحملون الأليل المتنحى المتماثل لمرض تاى-ساكس. مع تراكم GM2، يتعطل توصيل الإشارات العصبية ويعانى الضحية عادةً من العمى، فقدان التنسيق، والخرف. تبدأ العلامات بالظهور قبل أن يبلغ الطفل سنة من العمر، ويموت معظم الضحايا بحلول سن 3 أو 4 سنوات. يمكن تحديد الحاملين البالغين الذين لا تظهر عليهم أعراض عن طريق اختبار دم، ويتم تقديم المشورة الوراثية لهم بشأن خطر إصابة أطفالهم بالمرض.

يوجد الميالين فى الدماغ عند الولادة. تتقدم عملية التمييل بسرعة فى مرحلة الطفولة ولا تكتمل إلا فى أواخر فترة المراهقة. ونظرًا لأن الميالين يحتوى على نسبة عالية من الدهون، فإن الدهون الغذائية مهمة لتطور الجهاز العصبى المبكر. من الأفضل عدم إعطاء الأطفال دون سن الثانية الأنظمة الغذائية منخفضة الدهون)مثل الحليب منزوع الدسم، إلخ(التى قد تكون مفيدة للبالغين.

فى الجهاز العصبى المحيطى، تدور خلية شوان بشكل متكرر حول محور عصبى واحد، مشكلةً ما يصل إلى 100 طبقة مضغوطة من غشائها الخاص مع وجود القليل جدًا من السيتوبلازم بين الأغشية)الشكل 12.8أ(. تشكل هذه الطبقات غمد الميالين. تدور خلية شوان)Schwann(إلى الخارج أثناء لفها للمحور العصبى، وتنتهى أخيرًا بلفافة خارجية سميكة تُسمى الغلاف العصبى[23])neurolemma( )نور-و-ليم-آه(. هنا، يحتوى الجسم المنتفخ لخلية شوان على نواتها ومعظم سائله الخلوى. خارج الغلاف العصبى يوجد غشاء قاعدى ثم غلاف رقيق من النسيج الضام الليفى يُسمى *الغلاف العصبى الداخلى*)endoneurium(. لتصور عملية التمييل هذه، تخيل أنك تلف أنبوب معجون أسنان شبه فارغ بإحكام حول قلم رصاص. يمثل القلم المحور العصبى، وتمثل الطبقات الحلزونية لأنبوب معجون الأسنان الميالين. معجون الأسنان، مثل السيتوبلازم فى الخلية، يُجبر على أحد طرفى الأنبوب ويشكل انتفاخًا على السطح الخارجى للغلاف، مثل جسم خلية شوان.

فى الجهاز العصبى المركزى، يصل كل خلية أوليغودندروسيت إلى عدة محاور عصبية فى محيطها المباشر لتغليفها بالميلين)الشكل 12.8ب(. وبما أنها مرتبطة بعدة محاور عصبية، فلا يمكنها التحرك حول أى منها كما تفعل خلية شوان. إنها تدفع طبقات جديدة من الميلين تحت الطبقات القديمة، لذا فإن عملية التغطية بالميلين تلتف نحو الداخل باتجاه المحور العصبى. محاور الجهاز العصبى المركزى)CNS(لا تحتوى على غمد عصبى)neurolemma(أو غمد داخلى)endoneurium(. تُسمى أنماط التغطية بالميلين المتباينة بالتغطية الميلينية الطاردة)centrifugal myelination( )"بعيدًا عن المركز"(فى الجهاز العصبى المحيطى)PNS(والتغطية الميلينية الجاذبة)centripetal myelination( )"نحو المركز"(فى الجهاز العصبى المركزى)CNS(.

فى كل من الجهاز العصبى المحيطى)PNS(والجهاز العصبى المركزى)CNS(، تكون المحاور العصبية أطول بكثير من مدى خلية واحدة من الخلايا الدبقية، لذا يتطلب الأمر العديد من خلايا شوان أو الخلايا قليلة التغصن لتغطية محور عصبى واحد. ونتيجة لذلك، يكون غمد المايلين مقسمًا. يُسمى كل فجوة بين المقاطع فجوة غمد المايلين أو عقدة رانفييه[24])رون-فى-آى( )*العقدة* للاختصار(؛ والمقاطع المغطاة بالمايلين من كل عقدة إلى العقدة التالية تُسمى المقاطع بين العقدية)انظر الشكل 12.4أ(. يبلغ طول هذه المقاطع حوالى 0.2 إلى 1.0 ملم. يُسمى القسم القصير من المحور العصبى بين تل المحور العصبى وأول خلية دبقية المقطع الابتدائى. وبما أن تل المحور العصبى والمقطع الابتدائى يلعبان دورًا مهمًا فى بدء الإشارة العصبية، فإنهما يُطلق عليهما معًا منطقة الزناد.

12.3ح المحاور العصبية غير المغلفة بالميلين

العديد من المحاور العصبية فى الجهاز العصبى المركزى والطرفى غير مغطاة بالميلين. فى الجهاز العصبى الطرفى، مع ذلك، حتى المحاور العصبية غير المغطاة بالميلين تكون مغلفة بخلايا شوان)الشكل 12.9(. غشاء البلازما لخلايا شوان لا يلتف بشكل متكرر حول المحور العصبى كما هو الحال فى غمد الميالين، بل يطوى مرة واحدة حول كل محور عصبى وقد يتداخل على نفسه على الحواف. هذا التغليف هو الغلاف العصبى)neurolemma(. عدة محاور عصبية غير مغطاة بالميلين

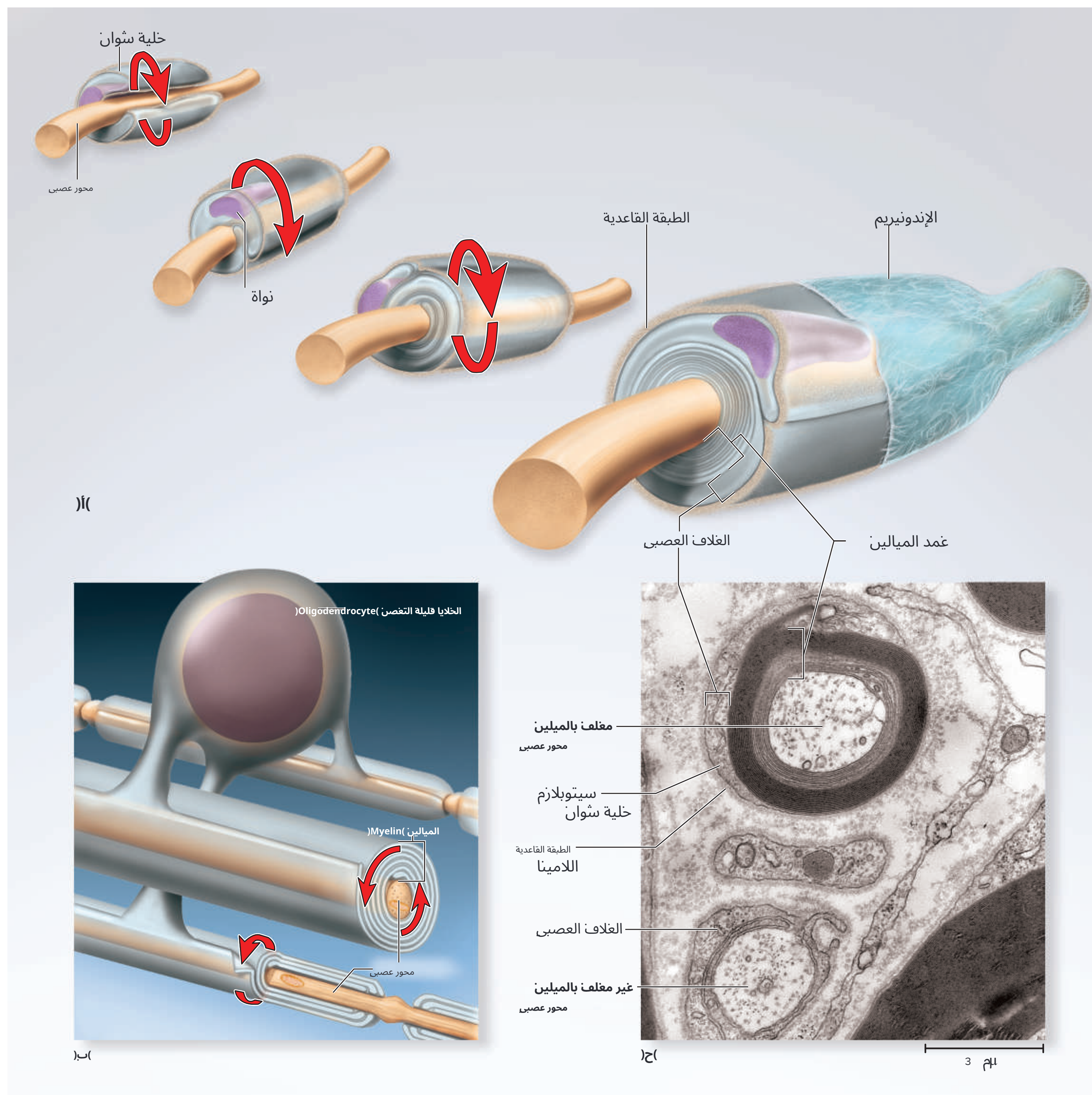
---

[25] $clers$= صلب، قوى؛ $osis$= حالة

[26] وارن تاى)1843–1927(، طبيب إنجليزى؛ برنارد ساكس)1858–1944(، طبيب أعصاب أمريكى

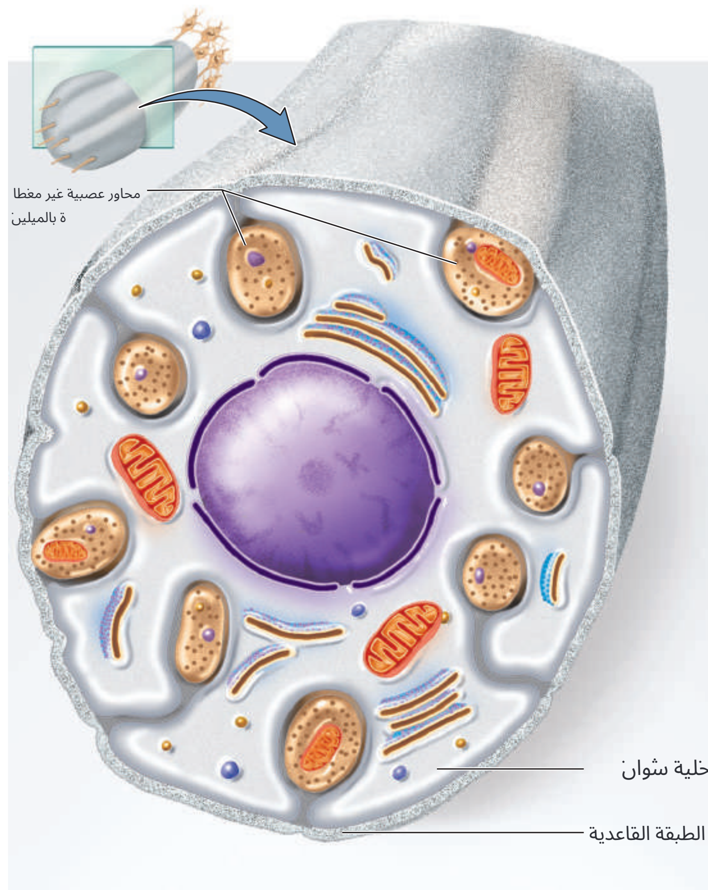
[23] neuro = عصب؛ lemma = غلاف، قشرة، غمد

[24] L. A. رانفييه)1835–1922(، عالم الأنسجة وعالم الأمراض الفرنسى



الشكل 12.8 تغليف الميالين.)أ(خلية شوان فى الجهاز العصبى المحيطى، تلتف مرارًا حول محور عصبى لتشكيل غمد الميالين متعدد الطبقات. يلتف الميالين إلى الخارج بعيدًا عن المحور العصبى أثناء ترسيبه.)ب(خلية أوليغوديندروسيت فى الجهاز العصبى المركزى تلتف حول محاور عصبية لعدة عصبونات. هنا، يلتف الميالين إلى الداخل نحو المحور العصبى أثناء ترسيبه.)ح(محور عصبى مغطى بالميالين)أعلى(ومحور عصبى غير مغطى)أسفل( )المجهر الإلكترونى النافذ(.

c: الدكتور دينيس إيمرى/جامعة ولاية أيوا/ماكجرو هيل



الشكل 12.9محاور عصبية غير مغطاة بالميلين.

ما هى العيب الوظيفى للمحور العصبى غير المغطى بالميلين؟ ما هى ميزته التشريحية؟

الاستجابات التى ليست مهمة بشكل خاص، مثل إفراز حمض المعدة أو توسيع الحدقة. تُستخدم المحاور العصبية الميالينية السريعة حيث تكون السرعة أكثر أهمية، كما فى الأوامر الحركية إلى عضلات الهيكل العظمى والإشارات الحسية للرؤية والتوازن.

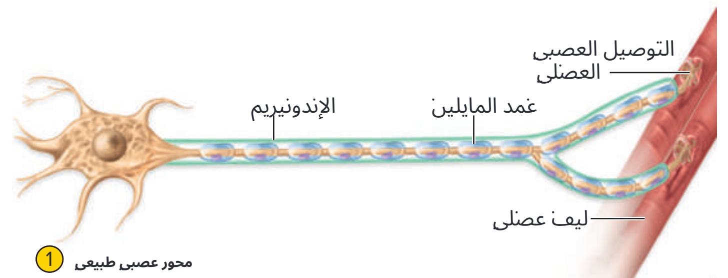
12.3e تجدد الأعصاب

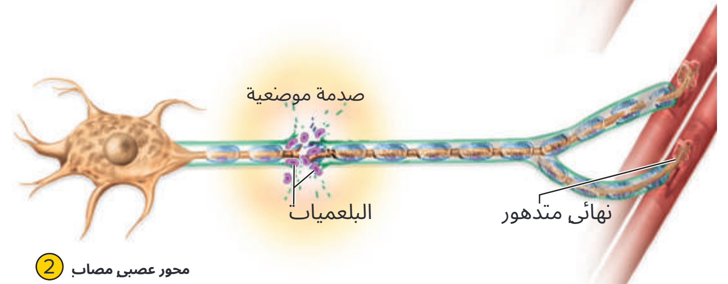
أعصاب الجهاز العصبى المحيطى (PNS) عرضة للقطع، والإصابات الناتجة عن ال سحق، وغيرها من الصدمات. ومع ذلك، يمكنها غالبًا أن تتجدد إذا كانت أجسام ا لخلايا العصبية سليمة وبقى على الأقل بعض الغلاف العصبى (neurolemma).
الشكل 12.10 يوضح عملية التجدد، معتمداً فى مثاله على عصبون حركى جسدى:

1 فى العصبون الطبيعى، لاحظ حجم جسم الخلية وحجم ألياف ال عضلات للمقارنة مع المراحل اللاحقة.

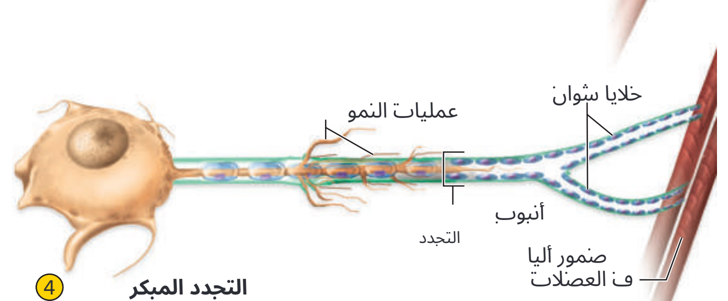
2 عندما يُقطع المحور العصبى، الجزء البعيد عن الإصابة لا يس تطيع البقاء لأنه غير قادر على تخليق البروتين. العضيات المسؤ ولة عن تخليق البروتين توجد فى الغالب فى جسم الخلية. مع تحلل الجزء البعيد من المحور العصبى، تتحلل أيضًا خلايا شوان التابعة له، والتى تعتمد عليه فى صيانتها. تقوم الخلايا البلع مية بتنظيف حطام الأنسجة عند نقطة الإصابة وما بعدها.

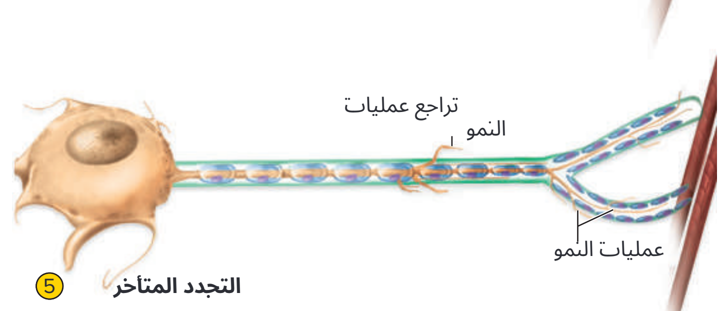
3 يُظهر جسم الخلية عددًا من الشذوذات الخاصة به، ربما لأنه مقطوع عن إمداد عوامل نمو الأعصاب من خلايا الهدف ا لخاصة بالعصبون.

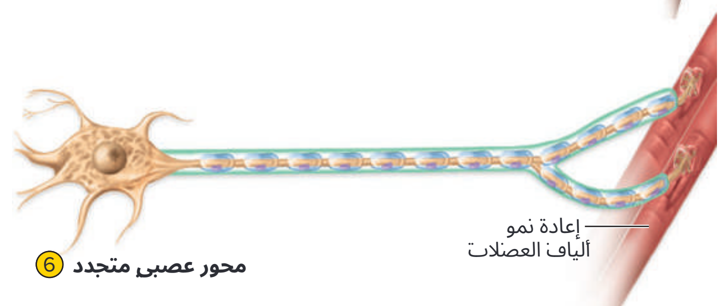












الشكل 12.10 تجديد محور عصبى تالف. انظر الخطوات المرقمة فى النص للتفسير. يمكن لمحاور الجهاز العصبى المحيطى التجدد إذا كانت جسم الخلية وبعض الغلاف العصبى سليمة.

لقد أثار الجهاز العصبي اهتمام العلماء والفلاسفة منذ العصور القديمة . كان جالين، الطبيب البارز في روما القديمة، يعتقد أن الدماغ يضخ بخارًا يسمى النفس النفسية)psychic pneuma(عبر الأعصاب الم جوفة ويرشها في العضلات لجعلها تنقبض. ولا يزال الفيلسوف الفرن سي رينيه ديكارت يدافع عن هذه النظرية في القرن السابع عشر. لكنها فقدت شعبيتها في القرن الثامن عشر، عندما اكتشف لويجي جالفان ي دور الكهرباء في انقباض العضلات)انظر التعمق 11.3(. وكان التقد م الإضافي ينتظر تحسينات في تكنولوجيا المجاهر وطرق تلوين الأن سجة. طور عالم الأنسجة الإيطالي كاميلو جولجي)1843–1926(طري قة مهمة لتلوين الخلايا العصبية بالفضة. واستخدم عالم الأنسجة الإ سباني سانتياغو رامون إي كاخال)1852–1934(صبغة جولجي لتتبع مسار العمليات العصبية عبر مسافات طويلة من خلال مقاطع نسيج ية متسلسلة.عمل جولجي بمهارة وصبر هائلين في ظروف بدائية—ح يث أقام مختبرًا على طاولة مطبخه بين الوجبات—وأثبت أن المسار ا لعصبي ليس "سلكًا" أو أنبوبًا مستمرًا، بل هو سلسلة من الخلايا مف صولة بالفجوات التي نسميها الآن المشابك العصبية. وعلى الرغم من الخلافات الشديدة والكره المتبادل بين جولجي وكاخال، فقد شاركا جا ئزة نوبل في الفسيولوجيا أو الطب عام 1906 عن هذه الاكتشافات الم همة.

اقترحت نظرية كاخال اتجاهًا آخر للبحث: كيف تتواصل الخلايا ال عصبية؟ هناك قضيتان رئيسيتان في علم وظائف الأعصاب:)1(كي ف تولد الخلية العصبية إشارة كهربائية؟ و)2(كيف تنقل رسالة ذات م عنى إلى الخلية التالية؟ هذه هي الأسئلة التي يتناولها هذا القسم والق سم التالي.

12.4أ الجهود الكهربائية والتيارات

التواصل العصبي، مثل إثارة العضلات، يعتمد على الفيزيولوجيا الكهر بائية—آليات خلوية لإنتاج الجهود الكهربائية والتيارات. الجهد الكهربائ ي هو فرق في تركيز الجسيمات المشحونة بين نقطتين. وهو شكل م ن أشكال الطاقة الكامنة التي، في الظروف المناسبة، يمكن أن تولد تيارًا. التيار الكهربائي هو تدفق الجسيمات المشحونة من نقطة إلى أخ رى. على سبيل المثال، تحتوي بطارية مصباح يدوي جديدة عادةً على جهد أو شحنة قدرها 1.5 فولت)V(. إذا تم توصيل المصباح وقطبي ا لبطارية بسلك، تتدفق الإلكترونات عبر السلك من قطب إلى آخر، مك ونة تيارًا يضيء المصباح. وطالما أن البطارية تحتفظ بالجهد)الفولتية(، نقول إنها مستقطبة.

الخلايا الحية أيضًا مستقطبة. الفرق في الشحنة عبر غشاء البلازما يسمى جهد الراحة الغشائي)RMP(. وهو أقل بكثير من جهد بطارية ا لمصباح اليدوي—عادة حوالي −70 ملي فولت)mV(في خلية عصبية غير محفزة "في حالة راحة". والقيمة السالبة تعني وجود عدد أكبر من الجسيمات المشحونة سلبًا داخل الغشاء مقارنة بالخارج.

لا توجد إلكترونات حرة في الجسم كما هو الحال في الدائرة الكهر بائية. التيارات الكهربائية في الجسم تُنشأ بدلاً من ذلك بواسطة تدفق الأيونات مثل Na^+ و K^+ عبر قنوات مسيطر عليها في غشاء البلازما. يمكن فتح وإغلاق القنوات المسيطر عليها بواسطة محفزات مختلفة، كما رأينا سابقًا)انظر "بروتينات الغشاء" في القسم 3.2a و"الخلايا القا بلة للاستثارة كهربائيًا"، القسم 11.3c(. هذا يمكّن الخلايا من تشغيل و إيقاف التيارات الكهربائية.

)انظر التعمق 12.3(. ينتفخ جسم الخلية، ويتفكك الشبكة الإ ندوبلازمية)مما يؤدي إلى تشتت المادة الكروماتوفيلية(، و يتحرك النواة بعيدًا عن المركز. لا ينجو جميع الخلايا العصبية ال تالفة؛ فبعضها يموت في هذه المرحلة. ولكن غالبًا ما ينبت جذ ع المحور العصبي عدة عمليات نمو بينما يظهر الطرف البعيد ال مقطوع استمرار تدهور محوره وخلايا شوان. تظهر ألياف العضلا ت المحرومة من إمدادها العصبي ضمورًا يسمى *ضمور نزع ا لتعصيب*.

4 بالقرب من الإصابة، يشكل الغلاف العصبي لخلايا شوان، وا لأنسجة الداخلية العصبية، والغشاء القاعدي أنبوب التجد يد. تنتج خلايا شوان جزيئات التصاق الخلايا وعوامل نمو الأع صاب التي تمكن الخلية العصبية من إعادة النمو إلى وجهتها الأ صلية. عندما تجد إحدى عمليات النمو طريقها إلى الأنبوب، تنم و بسرعة)3–5 مم/يوم(، ويتم سحب عمليات النمو الأخرى.

5 أنبوب التجدد يوجه البرعم النامي إلى الخلايا الهدف الأصلية، معيدًا إقامة الاتصال التشابكي.

6 عندما يتم إقامة الاتصال، ينكمش جسم الخلية العصبية ويع ود إلى مظهره الأصلي، وتنمو ألياف العضلات المعاد تعصيبها من جديد.

التجدد ليس كاملاً. بعض المحاور العصبية تتصل بألياف عضلية خاطئة أو لا تجد أليافًا عضلية على الإطلاق، وبعض الخلايا العصبية ال تالفة تموت ببساطة. لذلك غالبًا ما يتبع إصابة العصب بعض الدرجة من العجز الوظيفي. حتى عند تحقيق التجدد، فإن معدل نمو المحور ا لعصبي البطيء يعني أن بعض وظائف العصب قد تستغرق ما يصل إ لى سنتين للتعافي.

خلايا شوان والغشاء الداخلي ضروريان لتجدد المحاور العصبية. كلاهما مفقودان في الجهاز العصبي المركزي، لذا لا يمكن للمحاور العصبية التالفة في الجهاز العصبي المركزي أن تتجدد على الإطلاق. ومع ذلك، نظرًا لأن الجهاز العصبي المركزي محاط بالعظم، فإنه يتعرض لصدمات أقل من الأعصاب الطرفية.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

8. كيف تختلف الخلية الدبقية عن الخلية العصبية؟ اذكر الأنو اع الستة للخلايا الدبقية وناقش وظائفها.
9. كيف يتم إنتاج الميالين؟ كيف يختلف إنتاج الميالين في الجهاز العصبي المركزي عن ذلك في الجهاز العصبي المحيطي؟
10. كيف يمكن لمحور عصبي طرفي مقطوع أن يجد طريقه مرة أخرى إلى الخلايا التي كان يعصبها في الأصل؟

12.4 الكهربية العصبية للخلايا العصبية

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. شرح سبب وجود فرق شحنة كهربائية)جهد(عبر غشاء الخلي ة؛
ب. شرح كيف يسبب تحفيز الخلية العصبية استجابة كهربائية محلية في غشائها؛
ج. شرح كيف تولد الاستجابات المحلية إشارة عصبية؛ و
د. شرح كيف تُنقل الإشارة العصبية عبر محور عصبي.



نظرة أعمق 12.3

التاريخ الطبى

عامل نمو الأعصاب — من المختبر المنزلى إلى جائزة نوبل

من المدهش ما يمكن التغلب عليه من صعوبات بالإصرار الواثق بالنفس. عالمة الأعصاب ريتا ليفى-مونتالشينى (الشكل 12.11) تقدم مثالاً بارزاً. على الرغم من ولادتها فى عائلة يهودية إيطالية مثقفة وناجحة، فقد تم تثبيطها وأخ تها التوأم باولا عن التفكير فى التعليم الجامعى أو المهنة من قبل والدهم المحافظ على التقاليد. مصممتان على الالتحاق بالجامعة على أى حال، استأجرتا معلمة خا صة لتحضيرهما. تخرجت ريتا بمرتبة الشرف summa cum laude فى الطب وا لجراحة عام 1930 وبدأت دراسات متقدمة فى علم الأعصاب. أما باولا فصارت ف نانة مشهورة.

لكن بعد ذلك ظهر شبح معاداة السامية الشرير، حيث منع الديكتاتور الفاشى م وسولينى اليهود من المهن المهنية. يئست ريتا من متابعة الطب أو البحث حتى ذكرها صديق جامعى بمدى ما حققه كاجال فى ظل ظروف بدائية جداً. هذا ألهمها لتأسيس مختبر صغير فى غرفتها، حيث درست تطور الجهاز العصبى فى أجنة الد جاج. كانت قد قرأت عن عمل فيكتور هامبرغر فى سانت لويس، الذى كان يعتقد أ ن أنسجة الأطراف تفرز مادة كيميائية تجذب الأعصاب للنمو نحوها. لكن ليفى-مو نتالشينى كانت تعتقد أن الأعصاب تنمو إلى الأطراف بدون مثل هذه المواد الجاذ بة، لكنها تموت إذا لم تتلق مادة ضرورية لبقائها.



الشكل 12.11 ريتا ليفى-مونتالشينى (1909–2012).

Olycom/SIPA/Newscom

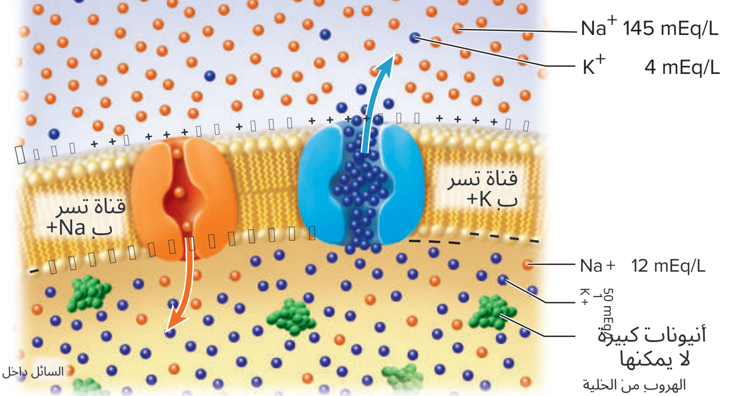
هربت أولاً من قصف الحلفاء ثم من غزو هتلر لإيطاليا، واضطرت ليفى-مونتال شينى إلى التخلى عن عملها بينما ذهبت العائلة إلى السرية حتى نهاية الحرب. بعد انتهاء الحرب، دعاها هامبرغر للانضمام إليه فى أمريكا، حيث ثبت صحة فرضيتها.

هى وستانلى كوهين عزلوا المادة التى تحافظ على الأعصاب وأسموها عامل نمو ا لأعصاب (NGF)، الذى شاركا عنه جائزة نوبل عام 1986. NGF هو بروتين تفرزه خ لايا العضلات والخلايا الدبقية. يمنع موت الخلايا المبرمج (apoptosis) فى الخلايا العصبية النامية وبالتالى يمكنها من إقامة اتصالات مع خلايا الهدف. كان أول عام ل نمو خلوى يُكتشف، وأطلق مجالاً حيوياً اليوم فى البحث عن استخدام عوامل ال نمو لتحفيز تطور الأنسجة وإصلاحها.

أنشأت ريتا وباولا مؤسسة ليفى-مونتالشينى لدعم تطوير مسيرة الشباب وخا صة التعليم العلمى للنساء فى أفريقيا. كما خدمت ريتا كعضو مشرف فى مجلس الشيوخ الإيطالى من 2001 حتى 2012، حين توفيت عن عمر يناهز 103 سنوات.

12.4ب جهد الغشاء الساكن

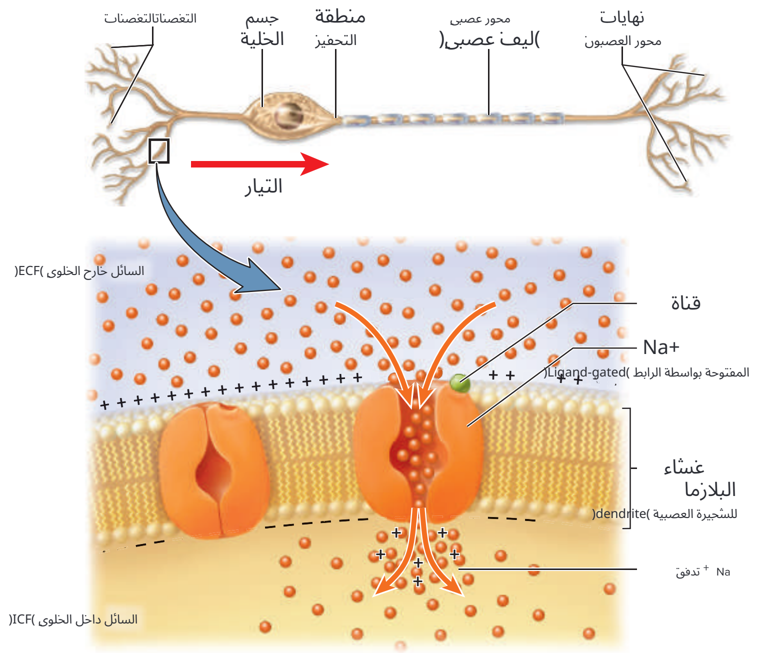
سبب وجود جهد غشاء ساكن فى الخلية هو أن الإلكتروليتات موزعة بشكل غير متساوٍ بين السائل خارج الخلوى (ECF) على خارج غشاء ال بلازما والسائل داخل الخلوى (ICF) على الداخل. ينتج جهد الغشاء ال ساكن عن التأثير المشترك لثلاثة عوامل: (1) انتشار الأيونات نزولاً عل ى تدرجات تركيزها عبر الغشاء؛ (2) النفاذية الانتقائية للغشاء، مما ي سمح لبعض الأيونات بالمرور بسهولة أكبر من غيرها؛ و(3) الجذب ال كهربائى بين الكاتيونات والأنيونات.



الشكل 12.12 الأساس الأيونى لجهد الغشاء الساكن. لاحظ أن أ يونات الصوديوم أكثر تركيزاً بكثير فى السائل خارج الخلوى (ECF) مقارنة بالسائل داخل الخلوى (ICF)، فى حين أن أيونات البوتاسيوم أكثر تركيزاً فى السائل داخل الخلوى. الأنيونات الكبيرة التى لا تستطيع اختراق غشاء ا لبلازما تعطى السيتوبلازم شحنة سالبة مقارنة بالسائل خارج الخلوى.

أيونات البوتاسيوم (K^+) لها التأثير الأكبر على جهد الغشاء الساكن لأن غشاء البلازما أكثر نفاذية لـ K^+ من أى أيون آخر. تخيل خلية افترا ضية تبدأ فيها كل أيونات K^+ داخل السائل داخل الخلوى (ICF)، ولا يوجد أى منها فى السائل خارج الخلوى (ECF). كما توجد فى السائل دا خل الخلوى عدد من الأنيونات السيتوبلازمية التى لا يمكنها الهروب م ن الخلية بسبب حجمها أو شحنتها — مثل الفوسفات، الكبريتات، الأ حماض العضوية الصغيرة، البروتينات، ATP، وRNA. تنتشر أيونات ا لبوتاسيوم بحرية عبر قنوات التسرب فى غشاء البلازما، نزولاً على تدر ج تركيزها وخارج الخلية، تاركة هذه الأنيونات السيتوبلازمية خلفها (الشكل 12.12). ونتيجة لذلك، يصبح السائل داخل الخلوى أكثر سلبية تدريجياً

مشحون. ولكن



الشكل 12.13 تنشيط عصبون بواسطة منبه كيميائي.

ينتشر Na^+ الداخل لمسافات قصيرة على طول داخل غشاء البلا زما، محدثًا موجة من إزالة الاستقطاب تنتشر من نقطة التحفيز، مثل تموجات تنتشر عبر بركة عندما ترمي حجرًا فيها. هذا التغير قصير المد ى في الجهد يسمى جهدًا محليًا. هناك أربع خصائص تميز الجهود الم حلية عن جهد الفعل الذي سندرسه في القسم التالي)الجدول 12.2(. ستقدر هذه الفروقات بشكل أفضل بعد دراستك لجهود الفعل.

1. الجهود المحلية متدرجة، مما يعني أنها تختلف في الشدة)ا لجهد(حسب قوة المنبه. المنبه الشديد أو المطول يفتح المزيد من قنوات الأيونات المغلقة مقارنة بالمنبه الأضعف، وتبقى م فتوحة لفترة أطول. وبالتالي، يدخل المزيد من Na^+ إلى الخل ية ويتغير الجهد أكثر مما يحدث مع منبه أضعف.

2. الجهود المحلية متناقصة، مما يعني أنها تضعف كلما انتشرت من نقطة الأصل. تنخفض قوتها جزئيًا لأن Na^+ يتسرب م رة أخرى خارج الخلية عبر القنوات على طول مساره، وجزئيًا لأن Na+ ينتشر تحت غشاء البلازما ويحدث إزالة استقطاب ل ه، فيتدفق K^+ خارجًا ويعكس تأثير تدفق Na+.

لذلك، يتناقص تغير الجهد الناتج عن Na^+ بسرعة مع الم سافة. وهذا يمنع الجهود المحلية من أن يكون لها تأثيرات ع لى مسافات طويلة.

3. الجهود المحلية قابلة للعكس، مما يعني أنه إذا توقف التحفيز ، فإن انتشار الكاتيونات خارج الخلية يعيد بسرعة جهد الغشاء إلى جهد الراحة.

4. يمكن أن تكون الجهود المحلية إما مثيرة أو مثبطة. حتى الآ ن، نظرنا فقط إلى الجهود المحلية المثيرة، التي تزيل استق طاب الخلية وتجعل العصبون أكثر احتمالاً لـ

مع ازدياد سلبية السائل داخل الخلية)ICF(، فإنه يمارس جذبًا أقوى لأيونات البوتاسيوم الموجبة ويجذب بعضها مرة أخرى إلى داخل الخلية. في النهاية يتم الوصول إلى *توازن* حيث يتحرك K^+ خارج الخلية)باتجاه تدرج تركيزه(وداخل الخلية)بسبب الجذب الكهربائي(بمعدلات متساوية. لا يحدث المزيد من *الان تشار الصافي* لأيون K^+. عند نقطة التوازن، يكون تركيز K^+ في السائل داخل الخلية حوالي 40 ضعف تركيزه في السائل خارج الخلية)ECF(.

لو كان K^+ هو الأيون الوحيد الذي يؤثر على جهد الراحة الغشائي)RMP(، لكان قد أعطى الغشاء جهدًا يقارب −90 ملي فولت. ومع ذلك، تدخل أيونات الصوديوم)Na^+(أيضًا في المعادلة. تركيز ال صوديوم في السائل خارج الخلية أعلى بحوالي 12 مرة منه في السائل داخل الخلية. غشاء البلازما في حالة الراحة أقل نفاذية بكثير لـ Na^+ م قارنة بـ K^+، لكن Na^+ ينتشر عبر تدرج تركيزه إلى داخل الخلية، جذبًا للشحنة السالبة في السائل داخل الخلية. هذا التسرب من الصوديوم هو فقط تسرب بسيط، لكنه كافٍ لإلغاء بعض الشحنة السالبة وتقليل الجهد عبر الغشاء.

يتسرب الصوديوم إلى داخل الخلية ويتسرب البوتاسيوم إلى الخارج، لك ن مضخة الصوديوم–البوتاسيوم)Na^+–K^+(تعوض باستمرار هذا التسرب. فهي تضخ 3 أيونات Na^+ خارج الخلية مقابل كل 2 أيونات K^+ تدخلها، مس تهلكة جزيء ATP واحد لكل دورة تبادل)انظر الشكل 3.19(. من خلال إزالة ا لمزيد من الكاتيونات من الخلية مقارنة بما تدخل به، تساهم المضخة بحوالي −3 ملي فولت في جهد الراحة الغشائي. جهد الراحة الغشائي البالغ −70 ملي فولت هو النتيجة الصافية لجميع تحركات الأيونات هذه—انتشار K^+ خارج ا لخلية، وانتشار Na^+ إلى الداخل، وعمل مضخة Na^+–K^+ التي تعوض باس تمرار هذا التسرب الأيوني.

تستهلك مضخة Na^+–K^+ حوالي 70% من متطلبات الطاقة)AT P(للجهاز العصبي. كل إشارة يولدها العصبون تخل ب توزيع Na^+ و K^+ قليلاً، لذا يجب على المضخة العمل باستمرار لاس تعادة التوازن. لهذا السبب، يتمتع النسيج العصبي بأحد أعلى معدلات استهلاك ATP بين أنسجة الجسم، ولماذا يحتاج إلى الكثير من الجلو كوز والأكسجين. على الرغم من أن العصبون يُقال إنه في حالة راحة ع ندما لا ينتج إشارات، إلا أنه نشط جدًا في الحفاظ على جهد الراحة الغ شائي و"ينتظر"، كما لو كان، حدوث شيء ما.

التوزيع غير المتساوي لـ Na^+ و K^+ على جانبي غشاء البلازما يق تصر فقط على طبقة رقيقة جدًا من الأيونات المجاورة مباشرة لسطوح الغشاء. الأحداث الكهربائية التي سنفحصها لا تشمل الأيونات البعيد ة جدًا عن الغشاء سواء في السائل خارج الخلية أو داخلها.

12.4ح الجهود المحلية

تحفيز العصبون يسبب اضطرابات محلية في جهد الغشاء. عادةً)مع و جود استثناءات(، يبدأ الاستجابة عند التغصن، تنتشر عبر جسم الخلية ، تسير عبر المحور العصبي، وتنتهي عند الطرف المحوري. سننظر في العملية بهذا الترتيب.

يمكن تحفيز العصبونات المختلفة بواسطة المواد الكيميائية، ال ضوء، الحرارة، أو القوى الميكانيكية. سنأخذ كمثال عصبون يتم تحفيز ه كيميائيًا)الشكل 12.13(. المادة الكيميائية)الليجاند(—ربما إشارة ألم من نسيج تالف أو جزيء رائحة في نفس الهواء—ترتبط بمستقبلا ت على العصبون. هذا يفتح قنوات الصوديوم ذات البوابات الليجاندي ة التي تسمح بتدفق Na^+ إلى داخل الخلية. تدفق Na^+ يلغي بعض ا لشحنة السالبة الداخلية، لذا ينحرف الجهد عبر الغشاء عند تلك النقطة نحو الصفر، مما يقلل من قطبية الغشاء. أي حالة يتحول فيها الجهد إ لى قيمة أقل سلبية تسمى إزالة الاستقطاب.

إنتاج جهد فعل. عادةً ما يكون للأستيل كولين هذا التأثير.تس بب نواقل عصبية أخرى، مثل الجليسين، تأثيرًا معاكسًا—فه ى تُفرط فى استقطاب الخلية، أو تجعل الغشاء أكثر سلبية. هذا يثبط العصبون، مما يجعله أقل حساسية وأقل احتمالاً لإن تاج جهد فعل.

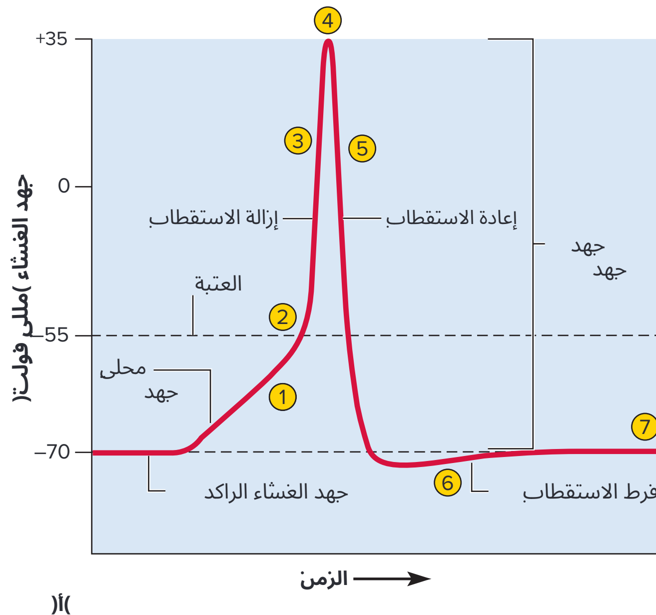
التوازن بين الجهود المثيرة والمثبطة مهم جدًا لمعالجة المع لومات فى الجهاز العصبى)انظر القسم 12.6ب(.

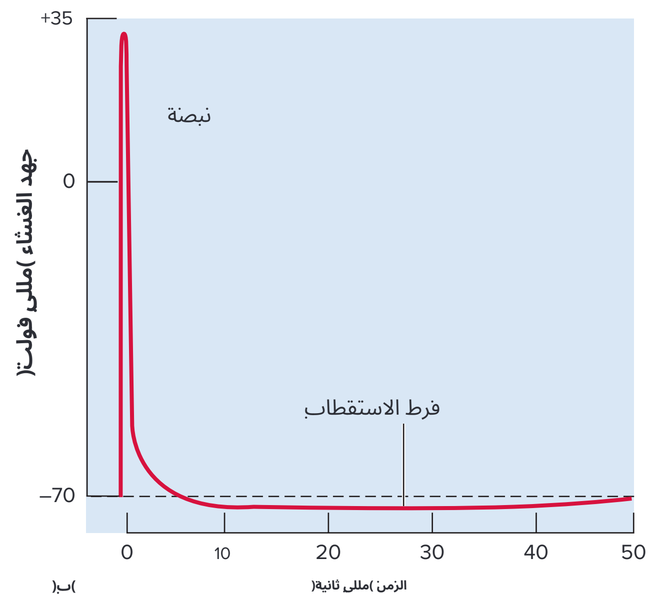
12.4د جهود الفعل

جهد الفعل هو تغير أكثر دراماتيكية ينتج عن قنوات الأيونات التى تتح كم بها الجهد فى غشاء البلازما.تحدث جهود الفعل فقط حيث يوجد كثافة كافية من القنوات التى تتحكم بها الجهد. معظم جسم الخلية يح توى فقط على 50 إلى 75 قناة لكل ميكرومتر مربع)μm^2(من الغشاء، وهى ليست كثيفة بما يكفى لتوليد جهود فعل. ومع ذلك، تحتوى من طقة الزناد على 350 إلى 500 قناة/μm^2. إذا انتشر جهد محلى مثير إ لى منطقة الزناد وكان لا يزال قويًا عند وصوله، يمكنه فتح هذه القنوا ت وتوليد جهد فعل.

جهد الفعل هو تغير سريع فى الجهد الكهربائى صعودًا وهبوطًا. الشكل 12.14أ يُظهر جهد فعل مرقمًا ليتوافق مع الوصف التالى.

1. عندما يصل التيار المحلى إلى تل المحور العصبى، يزيل استق طاب الغشاء عند تلك النقطة. يظهر هذا كجهد محلى يرتفع تدريج يًا.
2. لكى يحدث أى شىء أكثر، يجب أن يرتفع هذا الجهد المحلى إلى جهد حرج يسمى العتبة)عادة حوالى −55 مللى فولت(، وهو الح د الأدنى اللازم لفتح القنوات التى تتحكم بها الجهد.
3. يُطلق العصبون الآن "إشارة"، أو يُنتج جهد فعل. عند العتبة، تفتح قنوات Na^+ ذات الجهد الكهربائى بسرعة، بينما تفتح قنوات K^+ ذات الجهد الكهربائى ببطء أكبر. التأثير الأولى ع لى جهد الغشاء يكون بسبب Na^+. فى البداية، تفتح فقط عدد ق ليل من قنوات Na^+، ولكن مع دخول Na^+ إلى الخلية، فإنها تُزيد من استقطاب الغشاء. هذا يحفز المزيد من قنوات Na^+ ذات ا لجهد الكهربائى \على الفتح والسماح بدخول المزيد من Na^+، وهو حلقة تغذية راجعة إيجابية تسبب ارتفاع جهد الغشاء بشكل أسرع.
4. عندما يتجاوز الجهد الصاعد 0 مللى فولت، تُعطل قنوات Na^+ *وتبدأ فى الإغلاق. بحلول الوقت الذى تُغلق فيه جميع القنوات ويتوقف تدفق* Na^+، يبلغ الجهد ذروته عند حوالى +35 مللى فولت.)تكون الذروة منخفضة تصل إلى 0 مللى فولت فى بعض العصبونا ت وعالية تصل إلى 50 مللى فولت فى أخرى.(الغشاء الآن موجب م ن الداخل وسالب من الخارج—قطبيته معكوسة مقارنة بجهد الراحة الغشائى)RMP(.
5. بحلول الوقت الذى يبلغ فيه الجهد ذروته، تكون قنوات K^+ البطيئة مفتوحة بالكامل. تخرج أيونات البوتاسيوم، التى تدفعها الداخل الإيجابى للسيتوبلازم)ICF(، من الخلية. تدفقها الخارجى يعيد استقطاب الغشاء—أى يعيد الجهد إلى الأرقام السالبة. يتكون جهد الفعل من التغيرات الصاعدة والهابطة فى الجهد التى تحدث من لحظة الوصول إلى العتبة حتى عودة الجهد إلى جهد الراحة الغشائى)RMP(.
6. تبقى قنوات البوتاسيوم مفتوحة لفترة أطول من قنوات Na^+، لذا تخرج كمية K^+ من الخلية أكثر قليلاً من كمية Na^+ التى دخلت. لذلك، ينخفض جهد الغشاء إلى 1 أو 2 مللى فولت أكثر سلبية من جهد الراحة الأصلى، مما ينتج عنه تجاوز سلبى يُسمى فرط الاستقطاب)hyperpolarization(.
7. كما ترى، يتبادل Na^+ و K^+ الأماكن عبر الغشاء خلال جهد الفع ل.أثناء فرط الاستقطاب، يعود جهد الغشاء تدريجياً إلى جهد ا لراحة بسبب انتشار Na^+ إلى داخل الخلية.





الشكل 12.14 جهد الفعل.)أ(مخطط مع مقياس زمنى مشوه لجعل تفاصيل جهد الفعل مرئية. الأرقام تتوافق مع المراحل التى نوقشت فى النص.)ب(على مقياس زمنى أكثر دقة، الجهد المحلى قصير جدًا لدرجة أنه غير محسوس، يظهر جهد الفعل كنبضة، ويكون فرط الاستقطاب طويلًا جدًا.

الجدول 12.2 **مقارنة بين الجهود المحلية وجهود الفعل**

جهد الفعل	الجهد المحلي
ينتج عن قنوات مسيطر عليها بالفولتية في منطقة الزناد والمحور العصبي	ينتج عن قنوات مسيطر عليها على التشعبات وجسم الخلية العصبية
يبدأ دائمًا بإزالة الاستقطاب	قد يكون تغير جهد إيجابي)إزالة الاستقطاب(أو سلبي)فرط الاستقطاب(
كله أو لا شيء؛ إما لا يحدث على الإطلاق أو يظهر نفس جهد الذروة بغض النظر عن قوة المنبه	متدرج؛ يتناسب مع قوة المنبه
غير قابل للانعكاس؛ يستمر حتى الاكتمال بمجرد أن يبدأ	قابل للانعكاس؛ يعود إلى جهد الراحة إذا توقف التحفيز قبل الوصول إلى الع تبة
ذاتي الانتشار؛ له تأثيرات لمسافة طويلة من نقطة الأصل	محلي؛ له تأثيرات لمسافة قصيرة فقط من نقطة الأصل
غير تناقصي؛ الإشارة تحافظ على نفس القوة بغض النظر عن المسافة	تناقصي؛ الإشارة تضعف مع المسافة

من بعض النواحي، يمكننا مقارنة إطلاق العصبون بإطلاق مسد س. عند ضغط الزناد، يطلق المسدس إما بأقصى قوة أو لا يطلق إطلا قًا)مماثل لقانون الكل أو لا شيء(. لا يمكنك إطلاق رصاصة سريعة ع ن طريق ضغط الزناد بقوة أو رصاصة بطيئة عن طريق الضغط برفق —بمجرد سحب الزناد إلى "العتبة"، تخرج الرصاصة دائمًا من فوهة ا لسلاح بنفس السرعة. ومثل جهد الفعل، فإن إطلاق المسدس لا يمك ن عكسه بمجرد الوصول إلى العتبة؛ لا يمكن استرجاع الرصاصة ولا ج هد الفعل. يوضح الجدول 12.2 المزيد من المقارنات بين الجهد المح لي وجهود الفعل، بما في ذلك بعض خصائص جهود الفعل التي سيتم شرحها في الأقسام التالية.

12.4هـ فترة الامتناع

أثناء جهد الفعل ولمدة بضعة ميلي ثانية بعده، يكون من الصعب أو ا لمستحيل تحفيز تلك المنطقة من العصبون لإطلاق إشارة مرة أخرى. تُسمى هذه الفترة من المقاومة لإعادة التحفيز فترة الامتناع. وتنقسم إلى مرحلتين: *فترة الامتناع المطلقة* التي لا يمكن لأي محفز مهما كا نت قوته أن يثير جهد فعل جديد خلالها، تليها *فترة الامتناع النسبية* ا لتي يمكن خلالها إثارة جهد فعل جديد، ولكن فقط بمحفز قوي بشكل غير عادي)الشكل 12.16(.

تستمر فترة الامتناع المطلقة من بداية جهد الفعل حتى يعود الغ شاء إلى جهد الراحة—أي طالما أن قنوات Na^+ مفتوحة ثم تصبح غير نشطة. تستمر فترة الامتناع النسبية حتى انتهاء فرط الاستقطاب. خلا ل هذه الفترة، تظل قنوات K^+ مفتوحة. يميل المحفز الجديد إلى إدخا ل Na^+ واستقطاب الغشاء، لكن K^+ ينتشر خارجًا عبر القنوات المفتو حة مع دخول Na^+، وبالتالي يعارض تأثير المحفز. يتطلب الأمر محفزًا قويًا بشكل خاص لتجاوز تدفق K^+ الخارج واستقطاب الخلية بما يكف ي لإطلاق جهد فعل جديد. بنهاية فرط الاستقطاب، تُغلق قنوات K^+ و تصبح الخلية أكثر استجابة من أي وقت مضى.

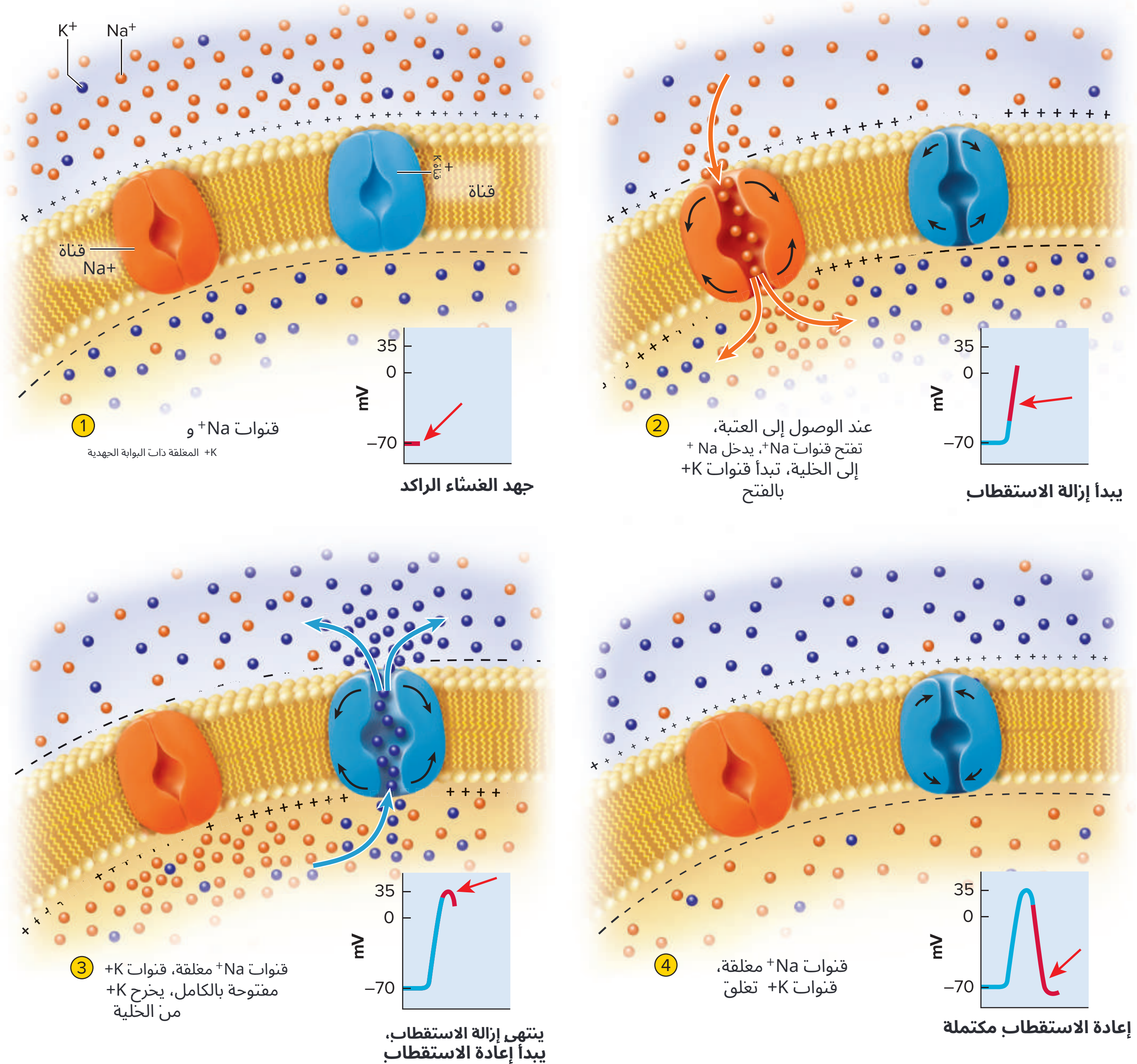
تشير فترة الامتناع فقط إلى بقعة صغيرة من الغشاء حيث بدأ ج هد الفعل بالفعل، وليس إلى العصبون بأكمله. يمكن تحفيز أجزاء أخر ى من العصبون بينما تكون بقعة صغيرة منه في فترة الامتناع، وحتى هذه المنطقة تتعافى بسرعة بمجرد مرور إشارة العصب.

الشكل 12.14أ مشوه عمدًا. لتوضيح المراحل المختلفة للجهد الم حلي وجهد الفعل، تم المبالغة في قيم الجهد المحلي وفرط الاستقطا ب، وتم تمديد الجهد المحلي ليبدو أطول، وتم تقليص مدة فرط الاس تقطاب بحيث يتناسب الرسم البياني مع الصفحة. عند رسم هذه الأح داث على مقياس زمني أكثر واقعية، تبدو أكثر شبهاً بالشكل 12.14ب . الجهد المحلي قصير جداً لدرجة أنه لا يُلاحظ، وفرط الاستقطاب طو يل جداً لكنه سلبي قليلاً فقط مقارنة بجهد الراحة الغشائي)RMP(. غا لبًا ما يُطلق على جهد الفعل اسم "النبضة"؛ ومن هذا الشكل يمكن بسهولة فهم السبب.

الشكل 12.15 يربط هذه التغيرات في الجهد بالأحداث في غشاء البلازما. مع مخاطرة في التسبب في سوء فهم، تم رسمه كما لو أن مع ظم أيونات Na^+ و K^+ قد تبادلت أماكنها. في الواقع، يعبر الغشاء حوا لي أيون واحد فقط من بين مليون لإنتاج جهد الفعل، ويشمل جهد ال فعل فقط الطبقة الرقيقة من الأيونات القريبة من الغشاء. إذا حاول ا لرسم التوضيحي تمثيل هذه النقاط بدقة، سيكون الفرق طفيفًا جدًا ل درجة أنك لن تراه. حتى بعد آلاف جهود الفعل، لا يزال السيتوسول يح توي على تركيز أعلى من K^+ وتركيز أقل من Na^+ مقارنة بالسائل خارج الخلية)ECF(.

رأينا سابقًا أن الجهود المحلية متدرجة، متناقصة، وقابلة للعكس. يمكننا الآن مقارنة ذلك مع جهود الفعل)الجدول 12.2(.

- تتبع جهود الفعل قانون "الكل أو لا شيء". إذا أدى منبه إلى إز الة استقطاب العصبون إلى العتبة، يطلق العصبون أقصى جه د له)مثل +35 مللي فولت(؛ وإذا لم يتم الوصول إلى العت بة، لا يطلق العصبون أي جهد. فوق العتبة، لا تنتج المنبها ت الأقوى جهود فعل أقوى. لذا، فإن جهود الفعل ليست متدرجة)أي ليست متناسبة مع قوة المنبه(كما هي الجهود المحلية.
- جهود الفعل غير متناقصة. فهي لا تضعف مع المسافة. ج هد الفعل الأخير في نهاية المحور العصبي قوي تمامًا مثل الأول في منطقة الزناد، بغض النظر عن المسافة - حتى في ألياف ا لألم التي تمتد من أصابع قدميك إلى جذع دماغك.
- جهود الفعل هي غير قابلة للعكس. إذا وصل العصبون إلى العتبة، فإن جهد الفعل يكتمل؛ لا يمكن إيقافه بمجرد أن يبدأ.



الشكل 12.15 أفعال قنوات الصوديوم والبوتاسيوم أثناء جهد الفعل. الجزء الأحمر من كل رسم بيانى يُظهر النقطة فى جهد الفعل حيث تحدث أحداث الخطوات من 1 إلى 4. APR

القنوات الموجودة مباشرة بعد جهد الفعل. تفتح قنوات الصوديوم والبوتاسيوم وتغلق تمامًا كما حدث فى منطقة الزناد، ويتم إنتاج جهد فعل جديد. من خلال التكرار، يُثار الغشاء الموجود مباشرة بعد ذلك. تستمر هذه التفاعل المتسلسل حتى يصل الإشارة المتنقلة إلى نهاية المحور العصبى. وبما أن هذا يُنتج موجة مستمرة من الإثارة الكهربائية على طول المحور العصبى، فإن هذه الآلية تُسمى التوصيل المستمر.

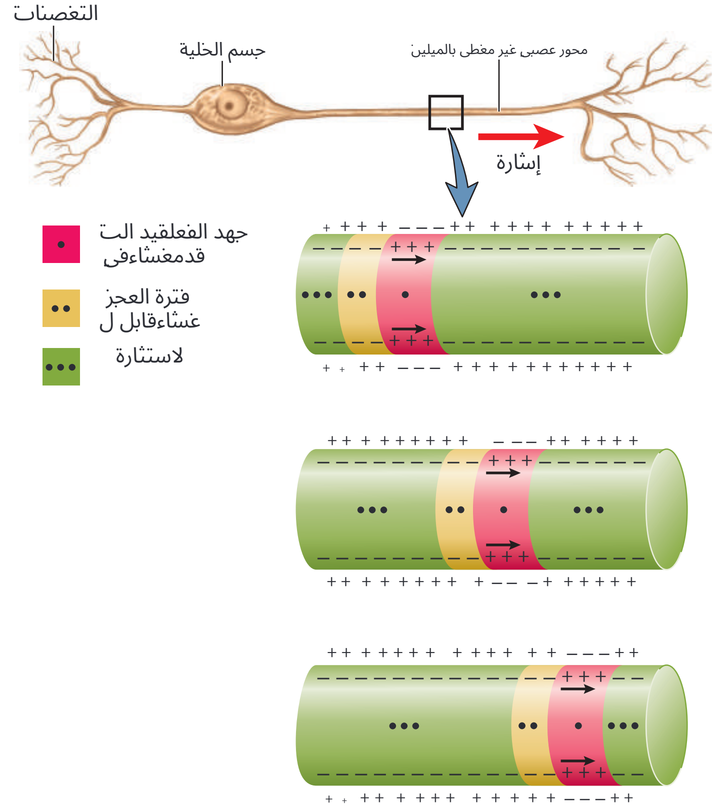
لاحظ أن جهد الفعل نفسه لا ينتقل على طول المحور العصبى؛ بل يحفز إنتاج جهد فعل جديد فى الغشاء الموجود أمامه مباشرة. وبالتالى، يمكننا التمييز بين جهد الفعل وإشارة العصب. إشارة العصب هى موجة متحركة من الإثارة تنتج عن جهود فعل ذاتية الانتشار. إنها مثل

12.4f توصيل الإشارة فى المحاور العصبية

إذا كان على العصبون أن يتواصل مع خلية أخرى، يجب أن تنتقل إشارة إلى نهاية المحور العصبى. نحن الآن ندرس كيف يتم تحقيق ذلك.

الألياف العصبية غير المغلفة بالميلين والتوصيل المستمر

الألياف العصبية غير المغلفة بالميلين تمثل حالة بسيطة نسبيًا لنقل الإشارة، وسهلة الفهم بناءً على ما قمنا بتغطيته بالفعل (الشكل 12.17). يحتوى المحور العصبى غير المغلف بالميلين على قنوات تعتمد على الجهد على طول كامل طوله. عندما يحدث جهد الفعل فى منطقة الزناد، يدخل Na^+ إلى العصبون وينتشر لمسافة قصيرة تحت غشاء البلازما. يؤدى الاستقطاب الناتج إلى تنشيط القنوات المعتمدة على الجهد



الشكل 12.17الانتقال المستمر لإشارة عصبيةفى محور غير مغطى با لميلين.لاحظ أن قطبية الغشاءتنعكس فى منطقة جهد الفعل)اللون ا لأرجوانى، •(. منطقة من الغشاء فى فترة العجز النسبية)الأصفر•• ،)تت بع جهد الفعل وتمنع الإشارة العصبية منالعودة إلى جسم الخلية. المنا طق الأخرى من الغشاء)الأخضر••• ،(مستقطبة بالكامل وجاهزة للاس تجابة.

APR

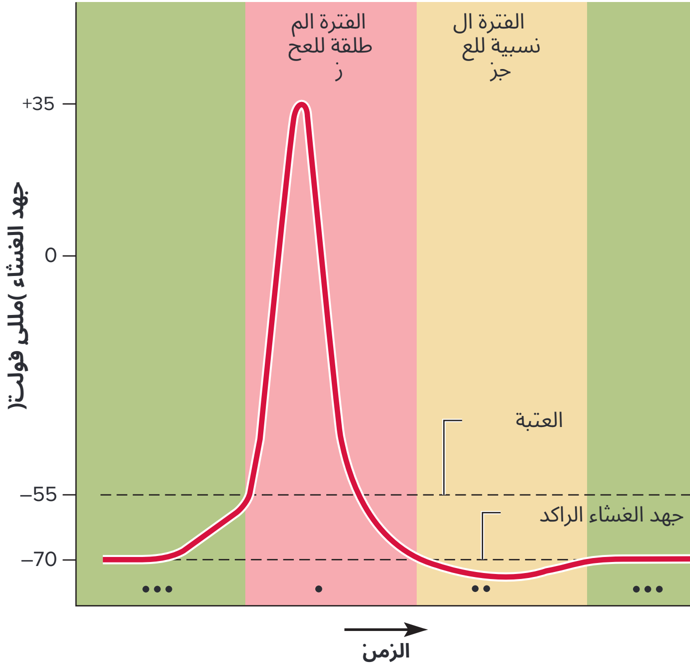
لا يندمج. كما أنه لا يزداد قوة مع المسافة، لأن كل جهد فعل هو حدث كل شيء أو لا شيء.

الألياف الميالينية والتوصيل القفزى

تقوم الألياف الميالينية بنقل الإشارات بطريقة مختلفة جداً تُسمى ال توصيل القفزى[27] — وتعنى "القفز" أو "النط". لا يمكن لهذه المحاور أ ن تنقل إشارة بطريقة مستمرة، مثل فتيل مشتعل، لأن قنوات الأيونا ت التى تفتح بالجهد الكهربائى نادرة جداً فى المقاطع المغطاة بالميلي ن بين العقد — أقل من 25/ميكرومتر^{2}فى هذه المناطق مقارنةً بـ 20 00 إلى 12000/ميكرومتر^{2}فى فجوات غمد الميالين)عقد رانفييه(. لا جدوى من وجود قنوات أيونية فى المقاطع بين العقد على أى حال — فالميلين يعزل المحور العصبى عن السائل خارج الخلية فى هذه المقا طع، ولا يمكن لأيونات Na^+ من السائل خارج الخلية أن تتدفق إلى دا خل الخلية حتى لو وُجدت قنوات أكثر. لذلك، لا يمكن أن تحدث جهود فعل فى المقاطع بين العقد، ويتطلب إشارة العصب طريقة أخرى لع بور المسافة من عقدة إلى أخرى.

عندما يدخل Na^+ إلى المحور العصبى عند العقدة، ينتشر لمسا فة قصيرة على الوجه الداخلى للغشاء)الشكل 12.18(. لكل أيون صو ديوم مجال كهربائى حوله. عندما يتحرك أيون Na^+ نحو أيون آخر، فإن مجاله يدفع الأيون الآخر بعيداً، فيتحرك قليلاً ويدفع أيوناً آخر، وهكذا — مثل مغناطيسين يدفع كل منهما الآخر

[27] من saltare = القفز، الرقص

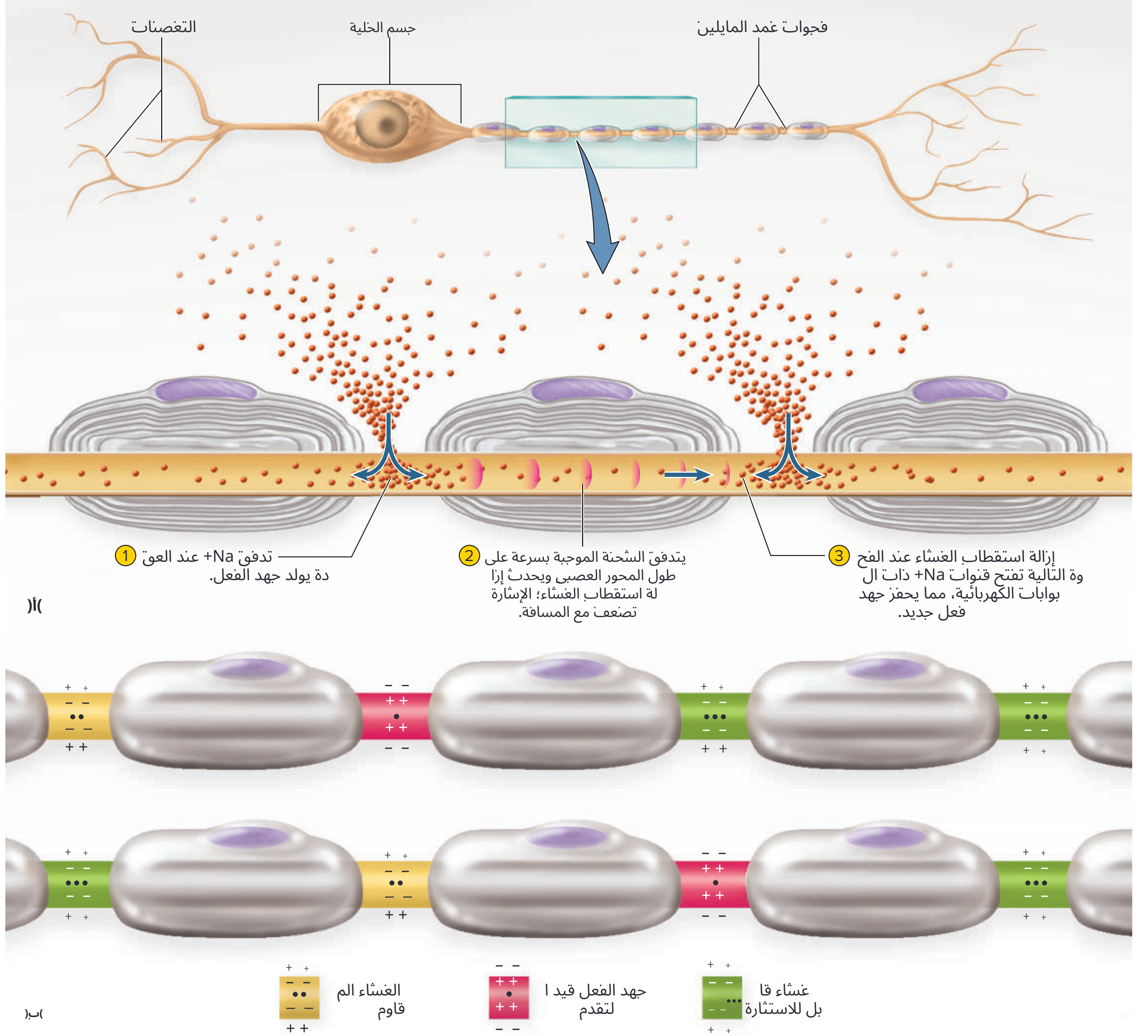


الشكل 12.16 الفترات المطلقة والنسبية لل refractoriness بالنسبة لإمكان العمل. غشاء العصبون يكون فى فترة refractoriness المطلقة أثناء إمكان العمل)المنطقة الأرجوانية ، •(؛ وفى فترة refractoriness النسبية مباشرة بعدها)الصفراء، ••(؛ ومشحون بالكامل وقابل للاستثارة فى المناطق الخضراء)•••(من المنحنى.

خط من الدومينو الساقط. لا يسافر دومينو واحد إلى نهاية الخط، لكن كل دومينو يدفع الدومينو التالى وهناك انتقال للطاقة من الدومينو الأ ول إلى الأخير. وبالمثل، لا تنتقل إشارة فعل واحدة إلى نهاية المحور ا لعصبى؛ فإشارة العصب هى تفاعل \متسلسل من إشارات الفعل، ك ل واحدة تحفز التى تليها أمامها.

إذا حفزت إشارة فعل واحدة إنتاج إشارة جديدة بجانبها، قد تعتقد أن الإشارة يمكن أن تبدأ أيضًا بالسفر خلفًا وتعود إلى جسم الخلية. ل كن هذا لا يحدث، لأن الغشاء الموجود مباشرة خلف إشارة العصب لا يزال فى فترة الراحة ولا يمكن إعادة تحفيزه. فقط الغشاء الأمام حسا س للتحفيز. لذا تضمن فترة الراحة أن تنتقل إشارات العصب فى الا تجاه الصحيح، من جسم الخلية إلى نهايات المحور العصبى.

إشارة العصب المتنقلة هى تيار كهربائى، لكنها ليست نفس التيا ر الذى يسير عبر سلك. التيار فى السلك يسير بملايين الأمتار فى الثا نية ويضعف مع المسافة. إشارة العصب أبطأ بكثير)لا تزيد عن 2 م/ ث فى المحاور غير المغطاة بالميلين(، ولكن كما ذُكر، فهى غير متناق صة. لتوضيح هذا المفهوم، يمكننا مقارنة إشارة العصب \بفتيل مش تعل فى مفرقعة نارية. عندما يُشعل الفتيل، تشتعل الحرارة البودرة ال موجودة أمام نقطة الاشتعال مباشرة، ويكرر هذا نفسه بطريقة ذاتية ا لانتشار حتى يصل إلى نهاية الفتيل. فى النهاية، يحترق الفتيل بنفس شدة بداية الاشتعال. فى الفتيل، البودرة القابلة للاشتعال هى مصدر ا لطاقة الكامنة التى تحافظ على استمرار العملية بطريقة غير متناقصة. فى المحور العصبى، تأتى الطاقة الكامنة من تدرج الأيونات عبر غشاء البلازما. لذا، لا تضعف الإشارة مع المسافة؛ بل تنتشر ذاتيًا، مثل اح تراق



الشكل 12.18 التوصيل القفزي لإشارة عصبية في محور عصبي مغطى بالميالين.)أ(تدفق الصوديوم عند فجوات غمد الميالين، معيدًا تجديد تدفق الشحنات الموجبة عند كل فجوة.)ب(إمكانات العمل)باللون الأحمر، •(يمكن أن تحدث فقط عند فجوات غمد الميالين، لذا تبدو الإشارة العصبية كما لو كانت تقفز من فجوة إلى أخرى. الغشاء)باللون الأصفر، ••(خلف كل إمكان عمل في حالة انكسار مؤقتة، في حين أن الغشاء)باللون الأخضر، •••(أمامه قابل تمامًا للاستثارة و جاهز للعمل.

ينتج عن ذلك "تخزين")يسمى *السعة*(لشحنات غير متحركة أو تتحرك ببطء على الغشاء.

تسرع الميالين من توصيل الإشارة بطريقتين. أولاً، من خلال الالتفاف بإحكام حول المحور العصبي، فإنه يغلقه ويزيد بشكل كبير مقاومته لتسرب Na^+ إلى الخارج. لذلك تحافظ أيونات الصوديوم على كثافة أعلى على الوجه الداخلي للغشاء وتنقل الطاقة من واحدة إلى أخرى بسرعة أكبر. ثانيًا، يخلق الميالين مقاومة أكبر

يتنافران إذا حاولت دفع قطبيهما الشماليّين معًا. لا يتحرك أي أيون مسافة كبيرة، لكن انتقال الطاقة هذا ينتقل عبر المحور العصبي بسرعة وأبعد من أي من الأيونات الفردية. مع ذلك، يضعف الإشارة مع المسافة جزئيًا لأن السيتوبلازم المحوري يقاوم حركة الأيونات وجزئيًا لأن Na^+ يتسرب مرة أخرى من المحور العصبي على طول الطريق. لذلك، مع المسافة، تقل تركيزات Na^+ لنقل الشحنة. علاوة على ذلك، مع فائض من الشحنات الموجبة على الوجه الداخلي لغشاء المحور العصبي وفائض من الشحنات السالبة على الوجه الخارجي، تنجذب هذه الكاتيونات والأنيونات إلى بعضها البعض عبر الغشاء - مثل أقطاب مغناطيسين متعاكسين تجذب بعضها عبر ورقة من الورق.

سائل داخل الخلية)ICF(والسائل خارج الخلية)ECF(. لذلك، الأيونات الموج
بة والسالبة فى السائل داخل الخلية والسائل خارج الخلية أقل انجذابًا لبعضها
البعض—مثل مغناطيسين مفصولين الآن بورقة كرتون سميكة. لذلك يمكن
لأيونات Na^+ أن تتحرك بحرية أكبر داخل المحور العصبى، ناقلة الطاقة من
واحد إلى آخر.

الإشارة التى تنتشر بالطريقة السابقة لا يمكن أن تنتقل أكثر من 1 مم
قبل أن تصبح ضعيفة جدًا لفتح أى قنوات Na^+ ذات البوابات الكهربائية.
لكن لحسن الحظ، هناك عقدة)فجوة(أخرى كل مليمتر أو أقل على طول ا
لمحور العصبى، حيث يكون الغشاء المحورى)الأكسولما(معرضًا للسائل
خارج الخلية ويوجد وفرة من القنوات ذات البوابات الكهربائية. عندما تصل
الإشارة بين العقد إلى هذه النقطة، تكون قوية بما يكفى لفتح هذه القنوا
ت، والسماح بدخول المزيد من Na^+، وخلق جهد فعل جديد.
يمتلك جهد الفعل هذا نفس القوة كما فى العقدة السابقة، لذا تقوم
كل عقدة بتعزيز الإشارة إلى قوتها الأصلية)+35 مللى فولت(. ومع ذ
لك، فإن توليد جهود الفعل هو عملية تستغرق وقتًا نسبيًا مما يبطئ إ
شارة العصب عند العقد.
نظرًا لأن جهود الفعل تحدث فقط عند العقد، فإن هذا النمط من
التوصيل يخلق انطباعًا خاطئًا بأن إشارة العصب تقفز من عقدة إلى أ
خرى)الشكل 12.18ب(— ومن هنا جاء التعبير *القفزى)saltatory(*.
يمكنك التفكير فى التوصيل القفزى بمثال عربة مترو مزدحمة.
تفتح الأبواب)مثل بوابات Na^+ عند العقدة(، يصعد 20 شخصًا آخر)م
ثل تدفق Na^+ إلى المحور العصبى(، ويضطر الجميع إلى الدفع نحو مؤ
خرة العربة لإفساح المجال لهم. لا يتحرك أى راكب من الباب إلى المؤ
خرة بالكامل، لكن الازدحام وانتقال الطاقة من شخص لآخر يجبر حتى
من فى المؤخرة على التحرك قليلاً، مثل أيونات الصوديوم عند العقدة
التالية. لذا، فإن الأحداث فى عقدة واحدة تخلق إثارة فى العقدة التالية
على مسافة ما.
باختصار، يعتمد التوصيل القفزى على عملية سريعة جدًا فى المقا
طع بين العقد)انتقال الطاقة من أيون إلى أيون(، لكنها متناقصة. فى الع
قد، يكون التوصيل أبطأ لكنه غير متناقص. وبما أن معظم المحور العص
بى مغطى بالميلين، فإن التوصيل يحدث بشكل رئيسى عبر العملية ال
سريعة بين العقد. لهذا السبب، تقوم المحاور العصبية المملوءة بالميلى
ن بتوصيل الإشارات بشكل أسرع بكثير)حتى 120 م/ث(مقارنة بالمحا
ر غير المملوءة بالميلين)حتى 2 م/ث(.

◀◀◀ طبق ما تعرفه

أنت على وشك إجراء عملية أسنان ويقوم طبيب الأسنان
بتخديرك بحقنة من الليدوكائين)Xylocaine(.
هذا مخدر موضعى يمنع فتح قنوات Na^+ ذات الجهد الكهربائى. ا
شرح لماذا هذه الآلية تمنع توصيل إشارات الألم من أسنانك إلى
دماغك.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

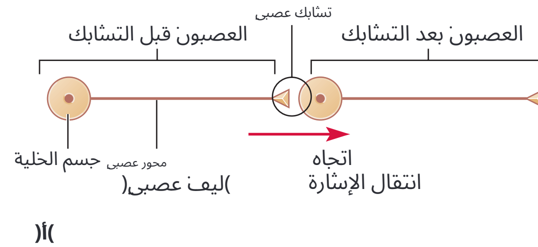
11. ما الذى يسبب انتشار K^+ خارج الخلية الساكنة؟ وما الذى يج
ذبه إلى داخل الخلية؟
12. ماذا يحدث لأيون الصوديوم Na^+ عندما يتم تحفيز العصبون على
التغصن الخاص به؟ ولماذا يؤدى تحرك Na^+ إلى رفع الجهد على
غشاء البلازما؟
13. ماذا يعنى القول بأن الجهد المحلى متدرج، متناقص، وقابل للعك
س؟
14. كيف يختلف غشاء البلازما فى منطقة الزناد عن ذلك الموجود ع
لى جسم الخلية؟ وكيف يشبه الغشاء فى فجوة غمد المايلين؟
15. ما الذى يجعل جهد الفعل يرتفع إلى +35 مللى فولت؟ وما الذى
يجعله ينخفض مرة أخرى بعد هذا الذروة؟
16. اذكر أربع طرق يختلف فيها جهد الفعل عن الجهد المحلى.
17. اشرح لماذا تقوم المحاور المغلفة بالمايلين بنقل الإشارات بسرعة أكبر بكثير م
ن المحاور غير المغلفة بالمايلين.

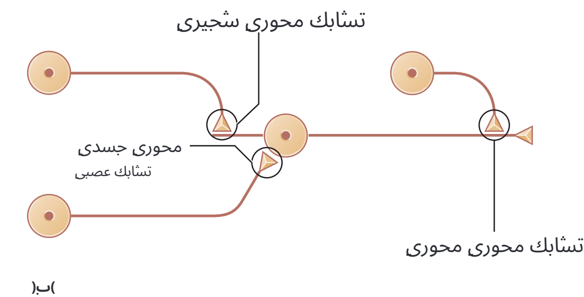
12.5 المشابك العصبية

نتائج التعلم المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على
أ. شرح كيفية انتقال الرسائل من عصبون إلى آخر؛
ب. تقديم أمثلة على الناقلات العصبية والمرمّزات العصبية ووصف أ
فعالها؛ و
ج. شرح كيفية إيقاف تحفيز الخلية بعد المشبكية.

كل الأشياء الجيدة لابد أن تنتهى؛ سلسلة من جُهد الفعل تصل قريبًا إ
لى نهاية محور عصبى ولا يمكنها الاستمرار أبعد من ذلك. النقطة التى
يلتقى فيها نهاية العصبون)طرف المحور العصبى(بالخلية التالية تُ
سمى المشبك العصبى.[28] قد تكون الخلية التالية عصبونًا آخر، أو خلي
ة غدية، أو خلية عضلية، أو بعض الأنواع الأخرى. النوع الأكثر سهولة ف
ى الوصول إليه والأكثر دراسة هو الوصلة العصبية العضلية)NMJ(ا
لتى وُصفت فى الفصل السابق)القسم 11.3ب(. ومع ذلك، فإن أكثر
المشابك العصبية وفرة، خاصة فى الدماغ والحبل الشوكى، هى المشا
بك بين العصبونات. وهذا ما سنركز عليه الآن.
فى هذه المشابك، بالنسبة لاتجاه تدفق المعلومات، تصل الإشار
ة عبر العصبون قبل المشبكى، الذى يفرز ناقلًا عصبيًا مثل الأسيتيل
كولين فى الوصلة العصبية العضلية. العصبون التالى، الذى يستجيب
له، يُسمى العصبون بعد المشبكى)الشكل 12.19(.





الشكل 12.19 العلاقات المشبكية بين العصبونات.
)أ(العصبونات قبل وبعد المشبكية.)ب(أنواع المشابك العصبية المحددة
بموقع الاتصال على العصبون بعد المشبكى.

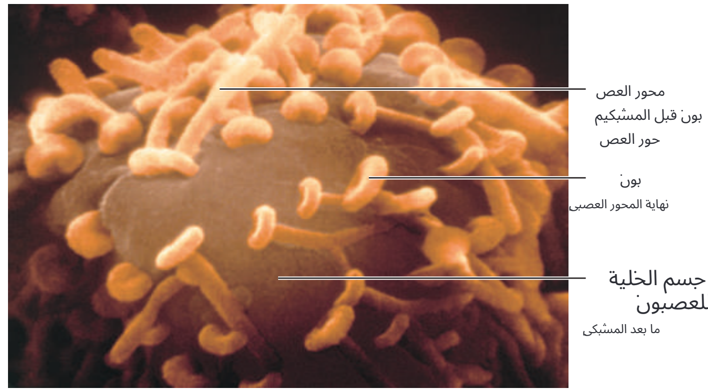
[28] *syn* = معًا؛ *aps* = للمس، الانضمام

وانخفض معدل ضربات قلبه كما هو متوقع. ثم أزال المحلول الملحي من ذلك القلب ورشه على قلب الضفدع الثاني. قلل المحلول وحده م ن معدل ضربات قلب الضفدع الثاني. من الواضح أنه احتوى على ش يء أفرزه العصب المبهم للضفدع الأول. لقد اكتشف لوي ما نسميه ا لآن الأسيتيل كولين—أول ناقل عصبي معروف.

طبق ما تعرفه

كما هو موصوف، هل يثبت التجربة السابقة بشكل قاطع أن تباط ؤ قلب الضفدع الثاني كان نتيجة لشيء أفرزته الأعصاب المبهمة ؟ إذا كنت لوي، ما التجربة الضابطة التي ستجريها لاستبعاد الفر ضيات البديلة؟

بعد عمل لوي، فقدت فكرة التواصل الكهربائي بين الخلايا مصدا قيتها. ومع ذلك، ندرك الآن أن بعض العصبونات، والخلايا الدبقية الع صبية، والعضلات الملساء القلبية والوحيدة الوحدة تمتلك بالفعل ت شابكات كهربائية، حيث ترتبط الخلايا المجاورة بواسطة وصلات فجو ية وتنتشر الأيونات مباشرة من خلية إلى أخرى. تتميز هذه الوصلات بسرعة النقل لأنها لا تتطلب تأخيرًا لإفراز وربط الناقل العصبي. وهي مهمة في تزامن نشاط مجموعات محلية من العصبونات في مناطق معينة من الدماغ. ومع ذلك، فإن عيبها هو أنها لا تستطيع دمج المعلو مات واتخاذ القرارات. القدرة على ذلك هي خاصية التشابكات الكيم يائية، التي تتواصل فيها العصبونات بواسطة الناقلات العصبية. الت شابكات الكيميائية هي أيضًا موقع التعلم والذاكرة، وهدف العديد من الأدوية الموصوفة، وموقع تأثير أدوية الإدمان، من بين أمور أخرى.



)أ(



)ب(

الشكل 12.20 المشابك.)أ(نهايات المحور العصبي تتشابك مع جسم خلية عصبون في الحلزون البحري، أبليزيا)مجهر إلكتروني مسحي(.)ب(نهاية الم حور العصبي تتشابك مع تغصن عصبون آخر)مجهر إلكتروني ناقل(.

أ: أوميكرون/مصدر العلوم/صور جيتي؛ ب: دينيس كونكل ميكروسكوبي/ مصدر العلوم

قد يشكل العصبون قبل المشبكي تشابكًا مع التغصن، أو جسم الخلية)السو ماتا(، أو محور العصبون بعد المشبكي، مكونًا تشابكًا محوريًا تغصنيًا، أو محو ريًا جسميًا، أو محوريًا محوريًا، على التوالي)الشكل 12.19ب(. يمكن للعص بون أن يحتوي على عدد هائل من التشابكات)الشكل 12.20أ(. على سبيل ا لمثال، يغطي عصبون الحركة الشوكي حوالي 10,000 نهاية محورية من عص بونات أخرى—8,000 منها تنتهي على التغصنات و2,000 أخرى على جسم ا لخلية. في جزء من الدماغ يسمى المخيخ، يمكن لعصبون واحد أن يحتوي ع لى ما يصل إلى 100,000 تشابك.

12.5أ اكتشاف الناقلات العصبية

في أوائل القرن العشرين، افترض علماء الأحياء أن التواصل المشبكي كان كهربائيًا—وهو فرض منطقي نظرًا لأن العصبونات بدت وكأنها تلم س بعضها البعض وكانت الإشارات تنتقل بسرعة كبيرة من واحد إلى آخر. ومع ذلك، كشفت فحوصات كاجال النسيجية الدقيقة عن وجود فجوة *)الفجوة المشبكية(* بين العصبونات، مما أثار الشكوك حول إم كانية النقل الكهربائي. تعرض كاجال لانتقادات لاذعة لفكرته "السخى فة" هذه، لكنه ثبت في النهاية أنه كان على حق.

في عام 1921، أثبت الصيدلي الألماني أوتو لوي بشكل قاطع أن العصبونات تتواصل عن طريق إفراز مواد كيميائية.

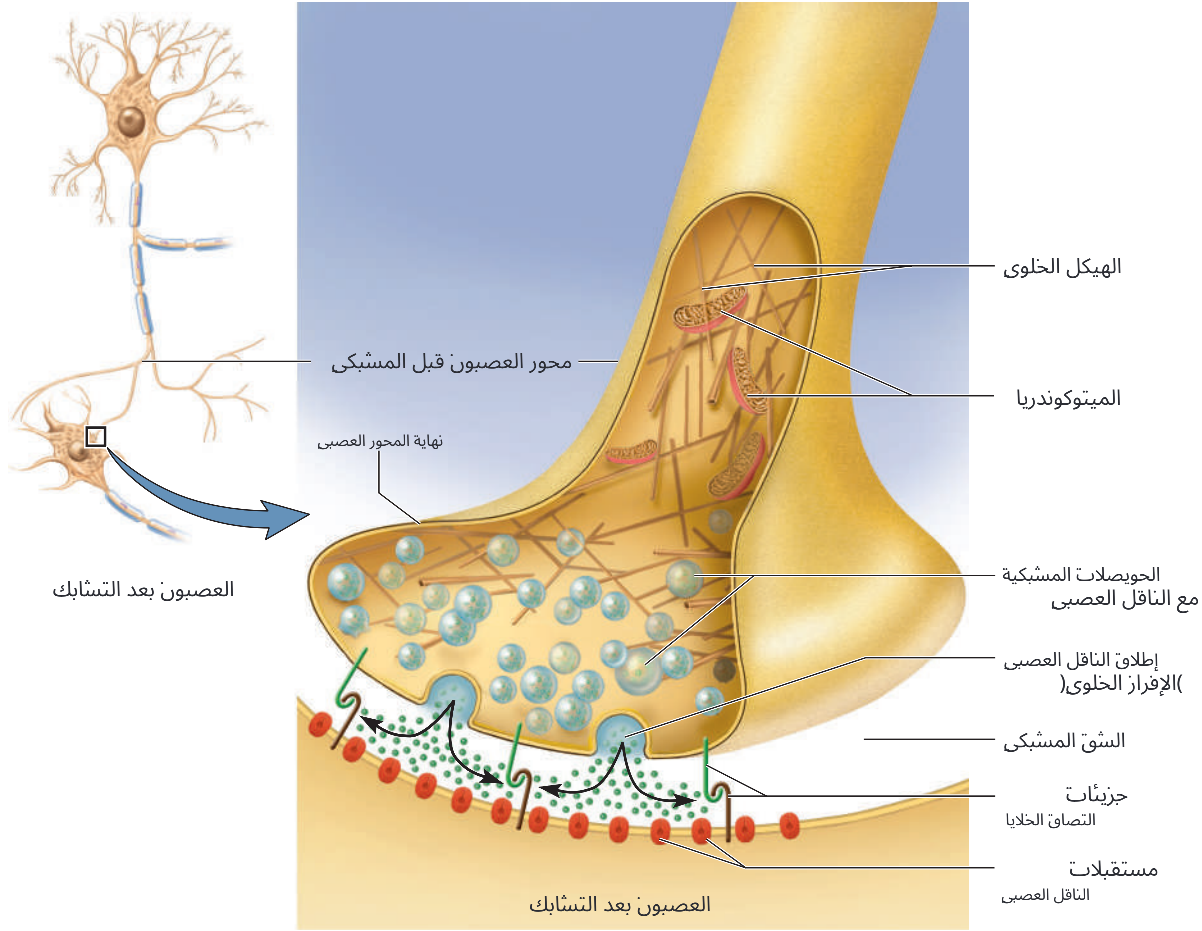
تغذي *الأعصاب المبهمة* القلب، من بين أعضاء أخرى، وتبطئه. فتح لوي قلبين لضفدعين وغمرهما بمحلول ملحي للحفاظ على رطوبتهما. ثم حفز العصب المبهم لأحد الضفادع،

12.5ب بنية التشابك الكيميائي

عندما يلتقي عصبون بآخر، توجد فجوة تسمى الفجوة المشبكية بين الخليتين. عادة ما تكون بعرض حوالي 20 نانومتر، وهي بالكاد ضعف عرض غشاء خلية واحدة)الشكل 12.20ب(. عادةً ما يتم تضخيم ال فجوة في رسومات التشابكات مثل الشكل 12.21 لإتاحة مساحة لع رض الأحداث في الإشارة المشبكية. يحتوي كل عصبون على بروتينا ت تسمى جزيئات التصاق الخلايا)CAMs(في غشاءه، والتي تمتد إ لى الفجوة المشبكية وترتبط بجزيئات التصاق الخلايا في الخلية الأخر ى، مثل الخلايا التي تمسك بأيدي بعضها البعض. تمنع جزيئات الت صاق الخلايا انفصال العصبونين عند التشابك وتحافظ على محاذاتهما الصحيحة لإفراز واستقبال الناقل العصبي.

تُخزن الناقلات العصبية في فقاعات تُسمى الحويصلات المشب كية في الطرف المحوري قبل المشبكي. بعض الحويصلات تكون "مر سوّة" في مواقع الإفراز في المنطقة النشطة من غشاء البلازما قبل ا لمشبكي، جاهزة لإطلاق الناقل العصبي عند الطلب. يوجد مخزون اح تياطي من الحويصلات المشبكية على مسافة أبعد قليلاً من سطح الخ لية، مربوط بالهيكل الخلوي، جاهز للتحرك وإطلاق ناقلاته العصبية في الشق بعد المجموعة الأولى.

مباشرةً مقابل مواقع الإفراز، يحتوي العصبون المستقبل على ك ثافة ما بعد المشبكية مع تركيز عالٍ من مستقبلات الناقلات العصبية وقنوات الأيونات، خاصةً على التغصنات وجسم الخلية. هذه هي الو سائل التي يستقبل بها الناقلات العصبية ويستجيب لها. كان يُعتقد لفترة طويلة أن التغصنات لا تُفرز الناقلات العصبية بل تستقبلها فقط . ومع ذلك، من المعروف الآن أنها أحيانًا تمتلك حويصلات مشبكية، و تفرز مجموعة متنوعة من الناقلات العصبية الخاصة بها، و"تتحدث" إ لى العصبونات قبل المشبكية. وهكذا، فإن العديد من المشابك الكيم يائية هي مسارات اتصال ذات اتجاهين. تُسمى هذه المحادثة العكس ية الإشارة الرجعية)"العكسية"(.



الشكل 12.21 هيكل المشبك الكيميائى.

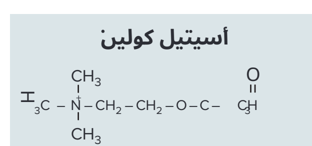
12.5c الناقلات العصبية والرسل ذات الصلة

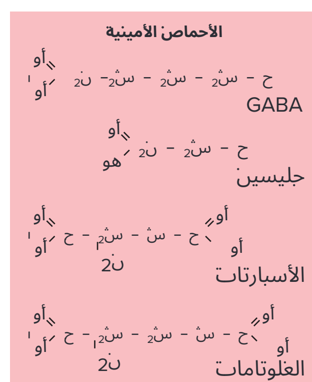
تم تحديد أكثر من 100 ناقل عصبى منذ زمن لووى. يمكن تعريف الناقلات العصبية على أنها جزيئات تُصنع بواسطة العصبون، وتُفرز عندما يصل الإشارة العصبية إلى نهاية المحور العصبى، ولها تأثير محدد على فسيولوجيا الخلية المستقبلة. معظمها جزيئات عضوية صغيرة تُفرز عن طريق الإفراز الخلوى وترتبط بمستقبلات محددة على الخلية المستقبلة، لكن هناك استثناءات. بعض من أشهر الناقلات العصبية مدرجة فى الجدول 12.3. عند دراستك لأجزاء الدماغ فى الفصل 14، قد ترغب فى الرجوع إلى هذا الجدول لتعزيز فهمك لوظائف الدماغ. معظم الناقلات العصبية تندرج تحت الفئات التالية)الشكل 12.22(.

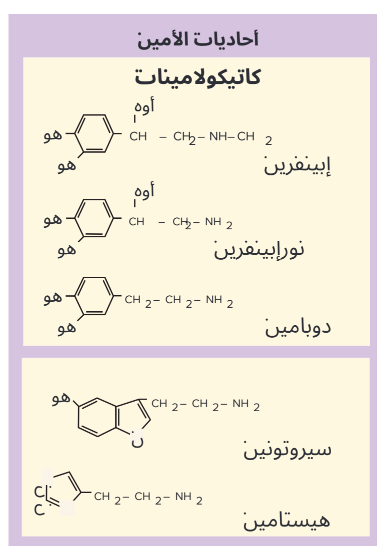
1. أسيتيل كولين هو فئة بحد ذاته. يتكون من حمض الخليك)أسيتات(والكولين.
2. الناقلات العصبية من الأحماض الأمينية تشمل الجليسين، الجلوتامات، الأسبارتات، وحمض γ-أمينوبيوتيريك)GABA(.
3. الأمينات الأحادية)الأمينات البيوجينية(تُصنع من الأحماض الأمينية بإزالة مجموعة — COOH. تحتفظ بمجموعة $—NH_2$)المجموعة الأمينية(، ومن هنا جاء اسمها. بعض الناقلات العصبية الأمينية الأحادية هى الإبينفرين، النورإبينفرين، الدوبامين، السيروتونين)5-هيدروكسى تريبتامين، أو 5-HT(، والهيستامين. الثلاثة الأولى منها تنتمى إلى فئة فرعية تسمى الكاتيكولامينات(CAT-eh-COAL-uh-meens).
4. البورينات التى تعمل كناقلات عصبية تشمل الأدينوسين و ATP)أدينوسين ثلاثى الفوسفات(.
5. الغازات، وبشكل خاص أكسيد النيتريك)NO(وأول أكسيد الكربون)CO(، هى استثناءات غير عضوية للتعريف المعتاد للناقلات العصبية. يتم تصنيعها حسب الحاجة بدلاً من تخزينها فى الحويصلات المشبكية؛ فهى ببساطة تنتشر خارج نهاية المحور العصبى بدلاً من إطلاقها عن طريق الإفراز الخلوى (exocytosis)؛ وتنتشر إلى العصبون المستقبل بدلاً من الارتباط بمستقبل سطحى.
6. الببتيدات العصبية هى سلاسل تتكون من 2 إلى 40 حمضًا أمينيًا. بعض الأمثلة عليها هى كوليسيستوكينين)CCK(والإندورفينات. تُخزن الببتيدات العصبية فى *الحبيبات الإفرازية)الحويصلات ذات النواة الكثيفة(* التى يبلغ قطرها حوالى 100 نانومتر، أى ضعف حجم الحويصلات المشبكية النموذجية. بعض الببتيدات العصبية تعمل أيضًا كهرمونات أو كـ *معدلات عصبية*)انظر القسم 12.5f(. يتم إنتاج بعضها ليس فقط بواسطة الخلايا العصبية بل أيضًا بواسطة الجهاز الهضمى؛ ولذلك تُعرف باسم *ببتيدات الأمعاء-الدماغ*. بعض هذه الببتيدات تسبب الرغبة فى تناول مغذيات محددة مثل الدهون أو البروتين أو الكربوهيدرات)انظر الفصل 26(وقد تكون مرتبطة ببعض اضطرابات الأكل.

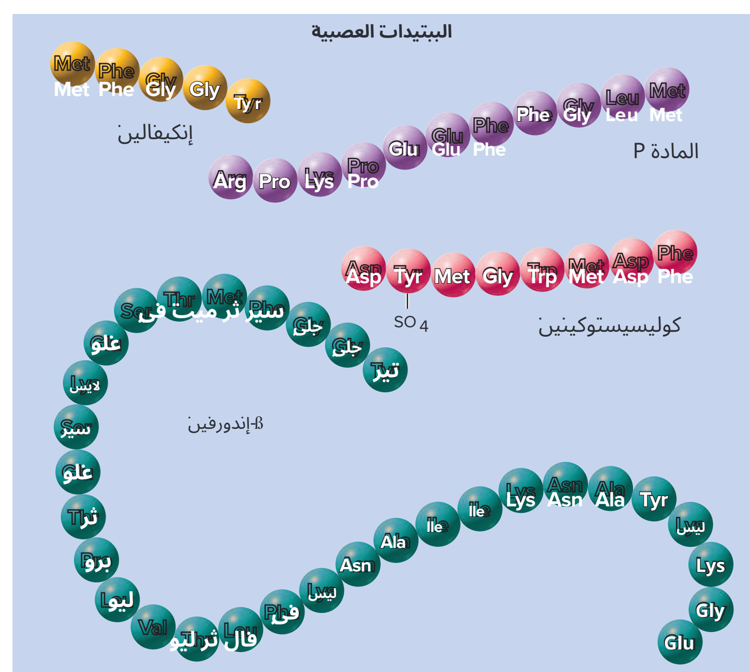
الجدول 12.3 **الناقلات العصبية)أمثلة مختارة(**

الاسم	المواقع والوظائف
أسيتيل كولين)ACh(	وصلات العصب العضلي، معظم المشابك في الجهاز العصبي الذاتي، الشبكية، والعديد من أجزاء الدماغ؛ يحفز العضلات الهيكلية، يثبط عضلة القلب، وله تأثيرات تحفيزية أو مثبطة على العضلات الملساء والغدد اعتمادًا على الموقع
الأحماض الأمينية	
الغلوتامات	القشرة الدماغية وجذع الدماغ؛ تمثل حوالي 75% من جميع النقل المشبكي التحفيزي في الدماغ؛ تشارك في التعلم والذاكرة
الأسبارتات	الحبل الشوكي؛ تأثيرات مشابهة لتأثيرات الجلوتامات
جليسين	الخلايا العصبية المثبطة في الدماغ، الحبل الشوكي، وشبكية العين؛ أكثر الناقلات العصبية المثبطة شيوعًا في الحبل الشوكي
GABA	المهاد، تحت المهاد، المخيخ، الفصوص القذالية من المخ، وشبكية العين؛ أكثر الناقلات العصبية المثبطة شيوعًا في الدما غ
أحاديات الأمين	
نورإبينفرين	الجهاز العصبي الودي، قشرة المخ، تحت المهاد، جذع الدماغ، المخيخ، والحبل الشوكي؛ يشارك في الأحلام، اليقظة، والمزاج؛ يحفز عضلة القلب؛ يمكن أن يحفز أو يثبط العضلات الملساء والغدد حسب الموقع
إبينفرين	تحت المهاد، المهاد، الحبل الشوكي، ونخاع الغدة الكظرية؛ تأثيرات مشابهة لتأثيرات النورإبينفرين
دوبامين	الوطاء، الجهاز الحوفي، قشرة المخ، وشبكية العين؛ يتركز بكثافة في المادة السوداء في الدماغ المتوسط؛ يشارك في رفع المزاج والتحكم في عضلات الهيكل العظمي
سيروتونين	الوطاء، الجهاز الحوفي، المخيخ، شبكية العين، والحبل الشوكي؛ يُفرز أيضًا بواسطة الصفائح الدموية وخلايا الأمعاء؛ يشارك في النعاس، ا ليقظة، تنظيم الحرارة، المزاج، والسلوك؛ أكثر من 95% من سيروتونين الجسم يُنتج بواسطة بكتيريا الأمعاء
هيستامين	الوطاء؛ كما أنه موسع وعائي قوي يُفرز بواسطة خلايا البدينة في النسيج الضام والخلايا القاعدية في الدم
الببتيدات العصبية	
المادة P	النوى القاعدية، الدماغ المتوسط، الوطاء، قشرة المخ، الأمعاء الدقيقة، وخلايا مستقبلات الألم العصبية؛ يوسّط نقل الألم
إنكيفالينات	الوطاء، الجهاز الحوفي، الغدة النخامية، مسارات الألم في الحبل الشوكي، ونهايات الأعصاب في الجهاز الهضمي؛ تعمل كمسكنات للألم ع ن طريق تثبيط المادة P؛ تثبط حركة الأمعاء؛ تعدل الاستجابات المناعية
β-إندورفين	الجهاز الهضمي، الحبل الشوكي، والعديد من أجزاء الدماغ؛ يُفرز أيضًا كهرمون من الغدة النخامية؛ يثبط الألم؛ يزداد إفرازه بشكل حاد أثناء الولادة والاستجابة لمواقف الألم الأخرى
كوليسيستوكينين	القشرة الدماغية والأمعاء الدقيقة؛ يثبط الشهية









الشكل 12.22 تصنيف بعض الناقلات العصبية.
الببتيدات العصبية هي سلاسل من الأحماض الأمينية، يُعرف كل منها برمزها المكون من ثلاثة أحرف. الملحق د يشرح الرموز.

طبق ما تعرفه

على عكس الناقلات العصبية الأخرى، يمكن تصنيع الببتيدات العصبية فقط فى جسم الخلية العصبية
ويجب نقلها إلى نهايات المحور العصبى.
لماذا يقتصر تصنيعها على جسم الخلية؟

سنرى، خاصة فى الفصل 15، أن ناقل عصبى معين لا يُحدث نفس التأثير فى كل مكان فى الجسم. هناك أنواع متعددة من المستقبلات فى الجسم لناقل عصبى معين—على الأقل 14 نوعًا من المستقبلات للسيروتونين، على سبيل المثال—والمستقبل هو الذى يحدد التأثير الذى يحدثه الناقل العصبى على الخلية المستهدفة. معظم الخلايا العصبية البشرية وغيرها من الثدييات يمكنها إفراز ناقلين عصبيين أو أكثر ويمكنها التبديل من واحد إلى آخر فى ظروف مختلفة.

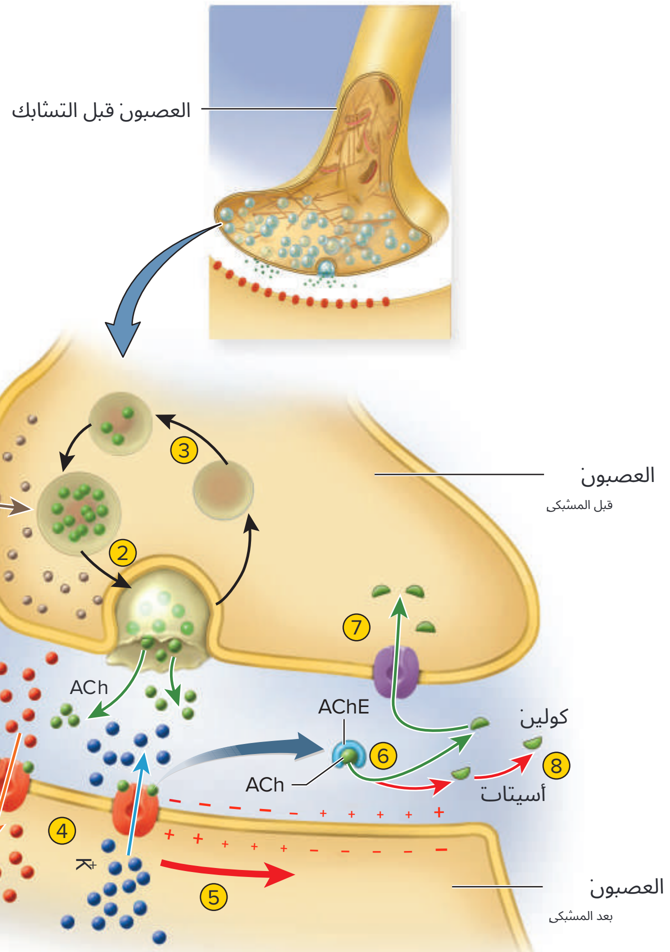
12.5د النقل المشبكى

بعض الناقلات العصبية مثيرة، وبعضها مثبط، وللبعض الآخر يعتمد التأثير على نوع المستقبل الذى تحمله الخلية بعد المشبكية. بعض الناقلات تفتح قنوات أيونية تفتح بواسطة الرابط، وأخرى تعمل عبر الرسل الثانى. مع مراعاة هذا التنوع، سنفحص ثلاثة أنواع من المشابك ذات أوضاع عمل مختلفة.

مشبك كولينى مثير

تشابك عصبى كولينى (CO-lin-UR-jic) A يستخدم الأستيل كولين (ACh) كناقل عصبى له. يقوم الأستيل كولين بتحفيز بعض الخلايا بعد التشابك (مثل العضلات الهيكلية) ويثبط أخرى (مثل عضلة القلب)، لكن هذا النقاش سيصف تأثيرًا تحفيزيًا. خطوات النقل فى مثل هذا التشابك العصبى هى كما يلى (الشكل 12.23):

1. وصول إشارة عصبية إلى نهاية المحور العصبى يفتح قنوات الكالسيوم ذات البوابات الكهربائية.
2. يدخل Ca^{2+} إلى النهاية ويحفز إفراز الحويصلات المشبكية، مطلقًا الأستيل كولين (ACh).
3. تسقط الحويصلات الفارغة مرة أخرى إلى السيتوبلازم ليعاد تعبئتها بالأستيل كولين، بينما تتحرك الحويصلات المشبكية فى المخزون الاحتياطى إلى المواقع النشطة وتطلق الأستيل كولين الخاص بها—يشبه ذلك صفًا من جنود حرب الثورة يطلقون بنادقهم ثم يتراجعون لإعادة التعبئة بينما يتقدم صف آخر إلى الأمام.
4. فى الوقت نفسه، ينتشر الأستيل كولين عبر الشق المشبكى ويرتبط بقنوات ذات بوابات مستقبلات على العصبون التالى. تفتح هذه القنوات، مما يسمح لـ Na^+ بالدخول إلى الخلية و K^+ بالخروج. على الرغم من توضيحها بشكل منفصل، يمر Na^+ و K^+ فى اتجاهين متعاكسين عبر نفس البوابات.
5. عندما يدخل Na^+، ينتشر على طول الجانب الداخلى لغشاء البلازما ويحدث إزالة استقطاب له، مما ينتج تغيرًا محليًا فى الجهد يسمى الجهد التالى للمشبك. مثل غيره من الجهود المحلية، إذا كان هذا قويًا ومستمرًا بما فيه الكفاية (أى إذا وصل تيار كافٍ إلى تل المحور العصبى)، فإنه يفتح قنوات الأيونات ذات البوابات الكهربائية فى منطقة الزناد ويتسبب فى إطلاق العصبون التالى.



الشكل 12.23 النقل عند المشبك الكولينى. الأستيل كولين يفتح مباشرة قنوات الأيونات فى غشاء البلازما للعصبون التالى للمشبك. الخطوات المرقمة من 1 إلى 5 تتوافق مع الوصف فى النص المجاور. الخطوات من 6 إلى 8 تتعلق بوقف الإشارة (القسم 12.5e). APR

الخطوات من 6 إلى 8 فى الشكل 12.23 تتعلق بآلية إيقاف النقل وسيتم شرحها لاحقًا.

مشبك مثبط يعتمد على GABA

المشابك التى تستخدم حمض الغاما-أمينوبيوتيريك (GABA) كناقل عصبى تُسمى المشابك المعتمدة على GABA. تعمل نواقل الأمين الحمضية مثل GABA بنفس آلية الأستيل كولين؛ حيث ترتبط بقنوات الأيونات وتسبب تغييرات فورية فى جهد الغشاء. إطلاق GABA وارتباطه بمستقبله مشابه للحالة السابقة. ومع ذلك، فإن مستقبل GABA هو قناة كلوريد. عند فتحها، يدخل Cl^- إلى الخلية ويجعل الداخل أكثر سلبية من جهد الغشاء الراكد. لذلك، يتم تثبيط العصبون، أو يصبح أقل احتمالًا للإطلاق.

مشبك أدرينالينى منشط

تشابك عصبى أدرينالينى يستخدم الناقل العصبى نورإبينفرين (NE)، المعروف أيضًا بالنورأدرينالين. يعمل NE، والمواد الأحادية الأمين الأخرى، والنيوروببتيدات من خلال الرسل الثانوية مثل AMP الحلقى (cAMP).

[29] كولين = أستيل كولين؛ إرغ = عمل، فعل

7 تأثير آخر هو أن يحفز cAMP النسخ الجيني، بحيث تنتج الخ
لية إنزيمات جديدة تؤدي إلى تأثيرات أيضية متنوعة.

على الرغم من أن المشابك الأدرينية تستجيب أبطأ من المشابك
الكولينية ومشابك GABA، إلا أن للمشابك الأدرينية ميزة — تضخيم
الإشارة. يمكن لجزيء واحد من NE يرتبط بمستقبل أن يحفز تكوين ا
لعديد من جزيئات cAMP، وكل واحدة منها يمكن أن تنشط العديد م
ن جزيئات الإنزيم أو تحفز نسخ جين لتوليد العديد من جزيئات mRN
A، وكل واحدة منها يمكن أن تؤدي إلى إنتاج عدد هائل من
جزيئات الإنزيم والمنتجات الأيضية مثل جزيئات الجلوكوز.

على الرغم من تعقيد الأحداث المشبكية، إلا أنها عادة ما تتطلب
حوالي 0.5 مللي ثانية فقط — وهي فترة تسمى تأخير المشبك. هذه
هي المدة من وصول الإشارة إلى الطرف المحوري للخلية قبل المشب
كية إلى بداية جهد الفعل في الخلية بعد المشبكية.

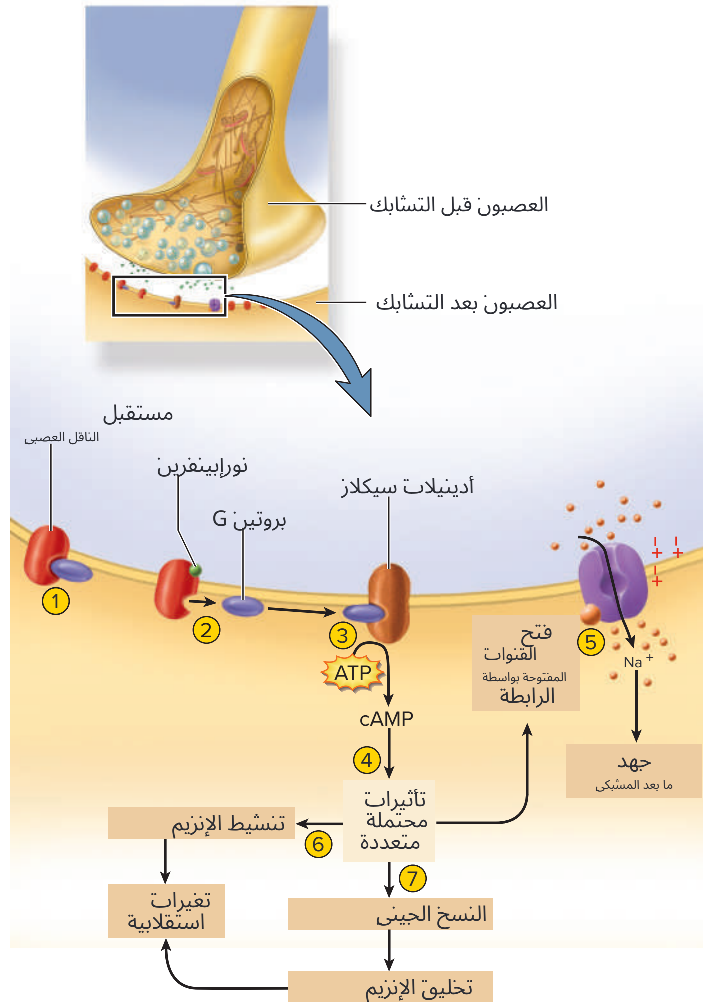
12.5e توقف الإشارة

من المهم ليس فقط تحفيز الخلية بعد المشبكية، بل أيضًا إيقاف التح
فيز في الوقت المناسب. وإلا فقد تستمر الخلية بعد المشبكية في الإ
طلاق بشكل لا نهائي، مما يسبب خللاً في التنسيق الفسيولوجي. لكن
جزيء الناقل العصبي يرتبط بمستقبله لمدة حوالي 1 مللي ثانية فقط
، ثم ينفصل عنه. إذا استمرت الخلية قبل المشبكية في إطلاق الناقل
العصبي، يتم استبدال جزيء واحد بسرعة بآخر وتُعاد تحفيز الخلية بعد
المشبكية. هذا يشير فورًا إلى طريقة لإيقاف النقل المشبكي — التو
قف عن إضافة ناقل عصبي جديد والتخلص من الناقل الموجود بالفع
ل. يتم تحقيق الخطوة الأولى ببساطة عن طريق توقف الإشارات في ا
لخلية قبل المشبكية. يمكن تحقيق الثانية بالطرق التالية، الموضحة
كخطوات 6 إلى 8 في الشكل 12.23:

6 تحلل الناقل العصبي. يقوم إنزيم في الشق المشبكي بتفكيك ا
لناقل العصبي إلى شظايا لا تؤثر تحفيزياً على الخلية بعد الم
شبكية. الموضح هنا هو إنزيم أستيل كولين إستراز (AChE) الذي
يكسر الأستيل كولين إلى كولين وأسيتات.

7 إعادة الامتصاص. يتم إعادة امتصاص الناقل العصبي أو نوا
تج تحلله عن طريق بروتينات النقل في نهاية المحور العصبي
، مما يزيلها من المشبك وينهي تأثيرها التنبيهي. يتم إعادة تد
وير الكولين من ACh لصنع ACh جديد.
يتم إعادة امتصاص نواقل العصبية من الأحماض الأمينية والم
ونوأمينات بطريقة مماثلة، ثم يتم تحللها داخل نهاية المحور ا
لعصبي بواسطة إنزيم يسمى أكسيداز المونوأمين (MAO). بع
ض أدوية مضادات الاكتئاب تعمل عن طريق تثبيط MAO.
بعض حالات التوحد، واضطرابات نقص الانتباه مع فرط النشاط (
ADHD)، مرض باركنسون، والاكتئاب تنجم عن ط
فرات تعيق وظيفة بعض هذه البروتينات الناقلة. عملية إعادة
الامتصاص هي هدف لبعض الأدوية لهذه الاضطرابات.

8 الانتشار. الناقلات العصبية أو نواتج تحللها تنتشر ببساطة بعي
دًا عن المشبك إلى السائل خارج الخلوي القريب. كما هو موضح
في الشكل 12.23، هذا ما يحدث لمكون الأسيتات من AC
h، ولكن في حالات أخرى، يهرب الناقل العصبي
من المشبك دون تحلل. في الجهاز العصبي المركزي، تمتص ال
خلايا النجمية الناقلات العصبية المتناثرة وتعيدها إلى الخلايا الع
صبية قبل المشبكية. في العقد العصبية للجهاز العصبي المحيط
ي، يبدو أن الخلايا القمرية التي تحيط بالخلايا العصبية تقوم
بهذا الدور؛ وهذا مجال بحث علمي جاري.



الشكل 12.24 النقل عند المشبك الأدرينالي.
الخطوات المرقمة تتوافق مع الوصف في النص المجاور.

المستقبل ليس قناة أيونات بل بروتين عابر للغشاء
مرتبط ببروتين G على الوجه الداخلي للغشاء.
الشكل 12.24 يوضح بعض الطرق التي يمكن أن يعمل بها المشبك الأدرينالي
مرقمة لتتوافق مع ما يلي:

1 المستقبل غير المنشط للنورابينفرين مرتبط ببروتين G.

2 ارتباط النورابينفرين بالمستقبل يسبب انفصال بروتين
G عنه.

3 يرتبط بروتين G بـ أدينيلات سيكلاز وينشط هذا الإنزيم، الذي
يحول ATP إلى cAMP.

4 يمكن أن يحفز AMP الدوري عدة تأثيرات بديلة داخل الخلية.

5 أحد التأثيرات هو إنتاج مادة كيميائية داخلية ترتبط بقناة أيونية
مفتوحة بواسطة الليجاند من الداخل، مما يفتح القناة ويحدث إ
زالة استقطاب للخلية.

6 تأثير آخر هو تنشيط الإنزيمات السيتوبلازمية الموجودة م
سبقًا، والتي يمكن أن تؤدي إلى تغييرات أيضية متنوعة (على
سبيل المثال، تحفيز خلية الكبد على تفكيك الجليكوجين وإ
طلاق الجلوكوز في الدم).

المعلومات التي تنتقل من مصدرها إلى وجهتها. قد تتساءل، إذن، لم اذا لدينا المشابك العصبية—لماذا المسار العصبي ليس، في الواقع، "سلكًا" مستمرًا كما كان يعتقد علماء الأحياء قبل كاجال. وجود المشا بك العصبية ليس بسبب قيود على طول المحور العصبي—فبعد كل شيء، يمكن لمحور عصبي واحد أن يصل من أصابع قدميك إلى جذع دماغك. لقد رأينا أيضًا أن الخلايا تتواصل بشكل أسرع عبر الوصلات ا لفجوية مقارنة بالمشابك الكيميائية. فلماذا إذن وجود المشابك الكيم يائية؟

ما نقدّره أكثر في جهازنا العصبي هو قدرته على معالجة المعلوما ت وتخزينها واتخاذ القرارات — والمشابك الكيميائية هي أجهزة اتخاذ القرار في النظام. كلما زاد عدد المشابك العصبية لدى العصبون، زاد ت قدرته على معالجة المعلومات. في هذه اللحظة، أنت تستخدم خلا يا هرمية معينة في قشرة المخ (انظر الصورة الافتتاحية لهذا الفصل) لقراءة وفهم هذا المقطع. تحتوي كل خلية هرمية على حوالي 40,000 اتصال مشبكي مع عصبونات أخرى. يُقدّر أن قشرة المخ وحدها (الن سيج الرئيسي لمعالجة المعلومات في دماغك) تحتوي على 100 تريل يون (10^{14}) مشبك عصبي. لتكوين فكرة عن هذا الرقم، تخيل محاولة عدّها. حتى لو استطعت عدّ مشبكين في الثانية، ليلاً ونهارًا دون توق ف، وكنت خالدًا، فسيستغرق الأمر 1.6 مليون سنة. تُسمى قدرة ع صبوناتك على معالجة المعلومات وتخزينها واسترجاعها واتخاذ القرارا ت بالتكامل العصبي.

12.6أ الجهود بعد المشبكية

يعتمد التكامل العصبي على الجهود بعد المشبكية التي تنتجها الناقلا ت العصبية. تذكر أن العصبون النموذجي لديه جهد غشاء راحة (RMP) حوالي −70 مللي فولت وعتبة حوالي −55 مللي فولت. يجب أن يُزال استقطاب العصبون إلى هذه العتبة لإنتاج جهد الفعل. أي تغير في ا لجهد في هذا الاتجاه يجعل العصبون أكثر احتمالًا لإطلاق إشارة، ولذل ك يُسمى جهدًا بعد مشبكيًا منشطًا (EPSP)

(الشكل 12.25أ). عادةً ما تنتج EPSPs عن تدفق Na^+ إلى داخل الخل ية ومعادلة بعض الشحنة السالبة داخل الغشاء.

في حالات أخرى، يقوم الناقل العصبي بإحداث فرط استقطاب في الخلية بعد المشبكية ويجعلها أكثر سلبية من جهد الراحة. وبما أن هذا يجعل الخلية بعد المشبكية أقل احتمالًا للإطلاق، فإنه يُسمى جهدًا ا بعد مشبكيًا مثبطًا (IPSP) (الشكل 12.25ب). بعض IPSPs تنتج ع ن فتح الناقل العصبي لقنوات الكلوريد ذات البوابات اللجاندية، مما يسبب تدفق Cl^- إلى داخل الخلية ويجعل السيتوسول أكثر سلبية. طر يقة أقل شيوعًا هي فتح قنوات K^+ الانتقائية، مما يزيد من انتشار K^+ خارج الخلية.

يجب أن ندرك أنه بسبب تسرب الأيونات عبر أغشيتها، تطلق ج ميع العصبونات إشارات بمعدل خلفي معين حتى عندما لا تكون مح فزة. لا تحدد EPSPs وIPSPs ما إذا كان العصبون سيطلق إشارة أم لا، بل تغير فقط معدل الإطلاق عن طريق تحفيز أو تثبيط إنتاج المزيد م ن جهود الفعل.

الجلوتامات والأسبارتات هما ناقلان عصبيان منشطان في الدماغ ينتجان EPSPs. الجليسين وGABA ينتجان IPSPs وبالتالي هما مث بطان. الأستيل كولين (ACh) والنورإبينفرين منشطان لبعض الخلايا و مثبطان لأخرى، اعتمادًا على نوع المستقبلات الموجودة. على سبيل ا لمثال، يحفز ACh العضلات الهيكلية لكنه يثبط عضلة القلب بسبب ا ختلاف أنواع مستقبلات ACh.

12.5f المُعدِّلات العصبية

تفرز الخلايا العصبية أحيانًا إشارات كيميائية ذات تأثيرات طويلة الأمد على مجموعات كاملة من الخلايا العصبية بدلاً من تأثيرات قصيرة و سريعة عند مشبك فردي. يسمى البعض هذه المواد المعدلات العص بية لتمييزها عن الناقلات العصبية؛ بينما يستخدم آخرون مصطلح النا قل العصبي بشكل واسع ليشملها. تقوم المعدلات العصبية بضبط، أو تعديل نشاط مجموعات الخلايا العصبية بطرق مختلفة: زيادة إفراز ال ناقلات العصبية من الخلايا العصبية قبل المشبك؛ تعديل حساسية ا لخلايا العصبية بعد المشبك تجاه الناقلات العصبية؛ أو تغيير معدل إع ادة امتصاص الناقلات العصبية أو تحللها لإطالة مدة تأثيرها.

أبسط المعدلات العصبية هو الغاز أكسيد النيتريك (NO).

ينتشر NO بسهولة إلى الخلية بعد المشبك وينشط مسارات الرسول الثاني التي تؤدي إلى تأثيرات مثل استرخاء العضلات الملساء.

يؤدي هذا إلى توسيع الشرايين الصغيرة وزيادة تدفق الدم إلى النسيج؛ وهذا هو الأساس لعمل الأدوية الخاصة بضعف الانتصاب (انظر التعم ق 27.4). الببتيدات العصبية هي معدلات عصبية؛ ومن بينها الإينكي فالينات والإندورفينات التي تثبط الخلايا العصبية الشوكية من نقل إ شارات الألم إلى الدماغ. تشمل المعدلات العصبية الأخرى الهرمونات وبعض الناقلات العصبية مثل الدوبامين، السيروتونين، والهيستامين.

قد يبدو هذا الأمر محيرًا، لكن مصطلحات الناقل العصبي، الهرمون، والمعدل العصبي لا تحدد المادة الكيميائية نفسها بقدر ما تحدد الدور الذي تلعبه في سياق معين. يمكن لمادة كيميائية واحدة أن تلعب أك ثر من دور في أماكن وظروف مختلفة.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

18. وصف مختصر لخمسة خطوات تحدث بين وصول جهد الفعل إلى نهاية المحور العصبي وبدء جهد فعل جديد في الخلية العصبية بعد المشبك.
19. مقارنة بين تأثيرات الأسيتيل كولين، GABA، والنورإبينفرين في ا لمشابك الخاصة بكل منها.
20. وصف ثلاثة آليات توقف النقل المشبكي.
21. ما وظيفة المعدلات العصبية؟ قارن وقابل المعدلات العصبية وا لناقلات العصبية.

12.6 التكامل العصبي

نتائج التعلم المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

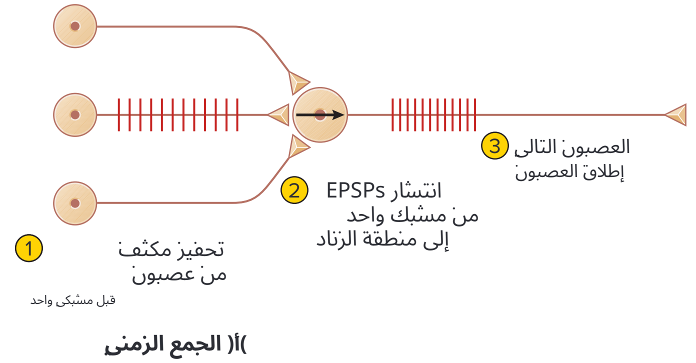
أ. اشرح كيف "يقرر" العصبون ما إذا كان سينتج جهد فعل أ م لا؛

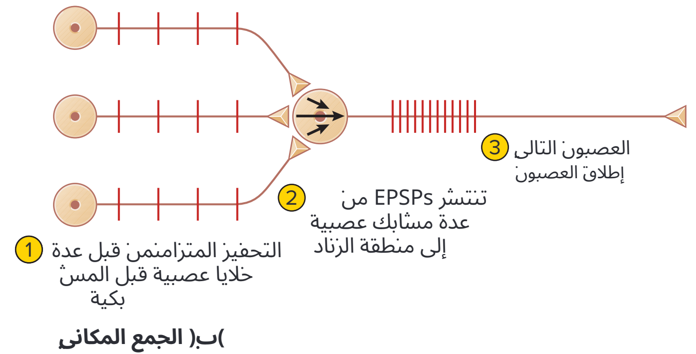
ب. اشرح كيف يترجم الجهاز العصبي المعلومات المعقدة إلى ر مز بسيط؛

ج. اشرح كيف تعمل العصبونات معًا في مجموعات لمعالجة المعلو مات وإنتاج مخرجات فعالة؛ و

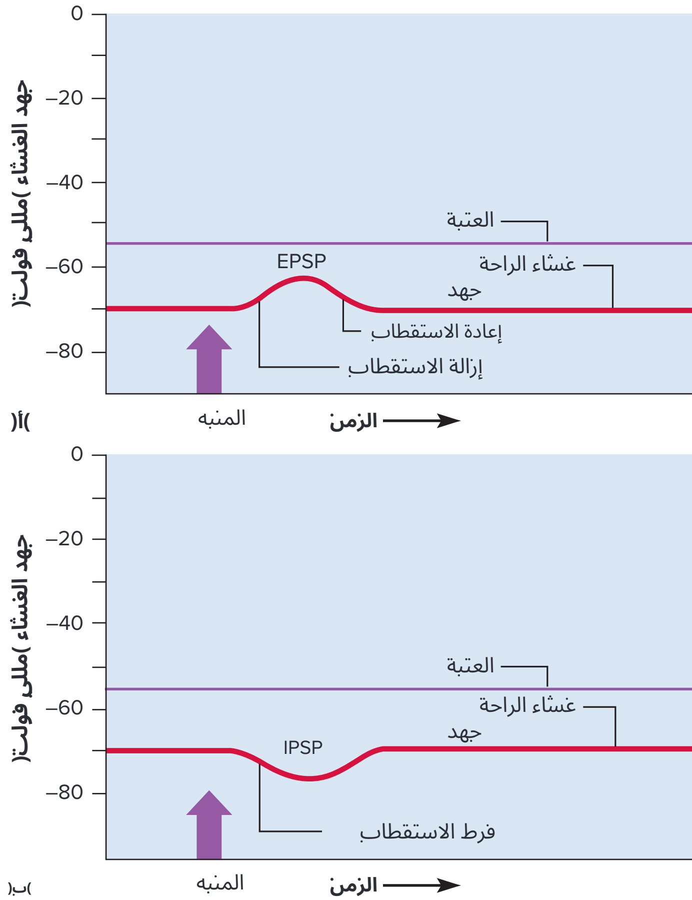
د. وصف كيف تعمل الذاكرة على المستويات الخلوية والجزيئية.

تأخير المشبك يبطئ نقل إشارات الأعصاب؛ فكلما زاد عدد المشابك في مسار عصبي، زاد الوقت المستغرق





الشكل 12.26 الجمع الزمني والمكاني. الخطوط العمودية على المحاور العص بية تشير إلى تردد الإطلاق النسبي. الأسهم داخل العصبون التالي تشير إل ى مسار الجهود المحلية المتدرجة.
أ) الجمع الزمني الناتج عن الإطلاق السريع لعصبون واحد قبل المشبكي.
ب) الجمع المكاني كأثر تراكمي لعدة عصبونات قبل مشبكية تطلق بمعدلا ت معتدلة.



الشكل 12.25 الجهود بعد المشبكية. أ) جهد بعد مشبكي تنشيطي (EPSP)، الذي يحول جهد الغشاء أقرب إلى العتبة ويجعل الخل ية أكثر احتمالًا للإطلاق. ب) جهد بعد مشبكي مثبط (IPSP)، الذي يحول جهد الغشاء أبعد عن العتبة ويجعل الخلية أقل احتمالًا للإطلاق. تم تضخيم أ حجام هذه الجهود بعد المشبكية هنا بشكل كبير للوضوح؛ قارن مع الشكل 12.27.

إنها في الأساس توازن بين EPSPs وIPSPs يمكن الجهاز العص بي من اتخاذ القرارات. العصبون بعد المشبكي يشبه ديمقراطية خلو ية صغيرة تعمل على "تصويت الأغلبية" لمئات أو آلاف الخلايا قبل ال مشبكية. في مثال الشاي، ترسل بعض العصبونات قبل المشبكية ر سائل تعني "ساخن! خطر!" على شكل EPSPs قد تُفعّل رد فعل سح ب اليد، بينما في الوقت نفسه، تُنتج أخرى IPSPs تعني "آمن" وتُثبط هذا الرد. ما إذا كنت تسحب يدك يعتمد على ما إذا كانت EPSPs تغ لب IPSPs أو العكس.

لماذا لا يكفي EPSP واحد لجعل العصبون يطلق إشارة؟

12.6ب التجميع، التسهيل، والتثبيط

التحفيز الضعيف لعصبون بعد المشبكي قد يُولد EPSP، لكنه يتلاشى قبل الوصول إلى العتبة. EPSP النموذجي هو تغير في الجهد بمقدار 0.5 مللي فولت ويستمر فقط من 15 إلى 20 مللي ثانية. إذا كان للعصبون جهد راحة غشائي (RMP) مقداره –70 مللي فولت وعتبة –55 مللي فولت، فإنه يحتاج إلى ما لا يقل عن 30 EPSPs للوصول إلى العتبة والإطلاق. هناك طريقتان يمكن من خلالهما أن تتجمع EPSPs لتحقيق ذلك، وقد تحدثان معًا في نفس الوقت.

1. التجميع الزمني (الشكل 12.26أ). يحدث هذا عندما ينتج م شبك واحد EPSPs بسرعة بحيث يتم توليد كل واحد قبل أن يتلاشى السابق. هذا يسمح لـ EPSPs بالتجمع مع مرور الو قت إلى جهد عتبة يُثير جهد الفعل (الشكل 12.27). يمكن أ ن يحدث التجميع الزمني إذا حفز عصبون قبل مشبكي واحد فقط العصبون بعد المشبكي بمعدل سريع كافٍ.

2. التجميع المكاني (الشكل 12.26ب). يحدث هذا عندما تتجمع EPSPs من عدة مشابك لتصل إلى العتبة عند المحور العصبي.

قد يستقبل عصبون واحد مدخلات من آلاف العصبونات الأخرى. قد تُنتج بعض المحاور العصبية الواردة EPSPs بينما تُنتج أخرى IPSPs. تعتمد استجابة العصبون على ما إذا كان *المدخل* ال صافي تنشيطيًا أم مثبطًا. إذا تغلبت EPSPs على IPSPs، فقد يتم الو صول إلى العتبة وتُثار جهد الفعل؛ وإذا سادت IPSPs، فإنها تمنع الع صبون من الإطلاق. التجميع هو عملية جمع الجهود بعد المشبكية وا لاستجابة لتأثيرها الصافي. يحدث ذلك في منطقة الزناد.

لنفترض، على سبيل المثال، أنك تعمل في المطبخ و لمس وعاء ساخن عن طريق الخطأ. قد تتسبب EPSPs في عصبوناتك الحركية في جعل يدك تنسحب بسرعة لتجنب الحرق. ومع ذلك، بعد لحظة، قد ترتشف كوبًا من الشاي الساخن بلا مبالاة. نظرًا لأنك تتوقع أن يكون ساخنًا، فلا تسحب الكوب بعيدًا عن شفتيك. لقد تعلمت أنه لن يؤذيك، لذا على مستوى معين من الجهاز العص بي، تسود IPSPs وتثبط الاستجابة الحركية.

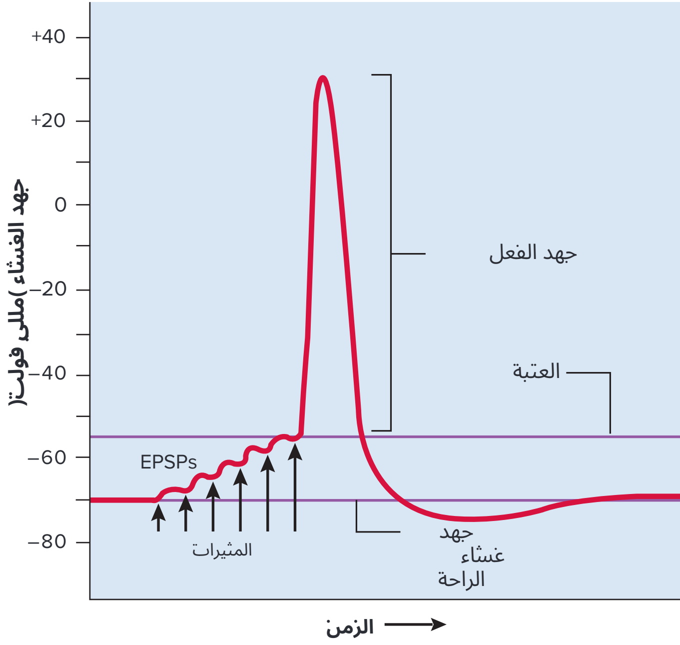
ثلاث خلايا عصبية سنسميها الخلية العصبية F للخلية العصبية الميسرة، S للخ
لية العصبية المحفزة، وR للخلية العصبية المستجيبة. تشكل الخلية العصبية F
مشبكًا أكسو-أكسونيًا مع الطرف المحورى للخلية العصبية S. عندما تكون الخلي
ة العصبية F فى حالة سكون، تظهر الخلية العصبية S مستوى منخفضًا فقط م
ن النشاط، مطلقة بعض الناقلات العصبية ولكن ليس بالضرورة ما يكفى لإثارة
الخلية العصبية R إلى العتبة. ولكن إذا دعت الظروف إلى تعزيز نقل المعلومات
عبر المشبك S-R، يمكن للخلية العصبية F إطلاق ناقل عصبى مثل السيروتون
ين. يجعل السيروتونين قنوات الكالسيوم ذات الجهد الكهربائى فى الطرف المح
ورى للخلية العصبية S تبقى مفتوحة لفترة أطول. يؤدى زيادة تدفق الكالسيوم إ
لى زيادة إطلاق الناقل العصبى من S، مما يثير الآن الخلية العصبية R.
العصبون الميسر F يعزز بالتالى النقل المشبكى.

التجميع المكانى الموضح فى الشكل 12.26ب هو طريقة أخرى
لتسهيل إطلاق العصبون التالى للمشبك. قد لا يتمكن عصبون واحد يعمل
بمفرده من تحفيز عصبون ما بعد المشبك على الإطلاق، ولكن
عندما يتعاونون، فإن "جهدهم" المشترك يحفز الإطلاق
فى الخلية ما بعد المشبك.

التثبيط قبل المشبكى هو عكس التسهيل، وهو آلية يقوم فيها ع
صبون قبل مشبكى واحد بقمع آخر.
تُستخدم هذه الآلية لتقليل أو إيقاف النقل المشبكى غير المرغوب فيه
. فى الشكل 12.29، نرى ثلاثة عصبونات أخرى حيث تم استبدال الع
صبون الميسر بعصبون مثبط، I. عندما يكون العصبون I صامتًا، يفرز
العصبون S الناقل العصبى الخاص به ويحفز استجابة فى R. ولكن ع
ندما يكون هناك حاجة لحجب النقل عبر هذا المسار، يفرز العصبون I
الناقل العصبى المثبط GABA. يمنع GABA فتح قنوات الكالسيوم ذا
ت البوابات الكهربائية فى العصبون S. ونتيجة لذلك، يفرز العصبون S
كمية أقل من الناقل العصبى أو لا يفرز شيئًا، ويفشل فى تحفيز الع
صبون R.

12.6ح الترميز العصبى

يجب على الجهاز العصبى تفسير وتمرير المعلومات الكمية والنوعية ع
ن بيئته — سواء كان الضوء خافتًا أو ساطعًا، أحمر أو أخضر؛ سواء كان
الطعم خفيفًا أو قويًا، مالحًا أو حامضًا؛ سواء كان الصوت عاليًا أو منخ
فضًا، حادًا أو منخفض النغمة.

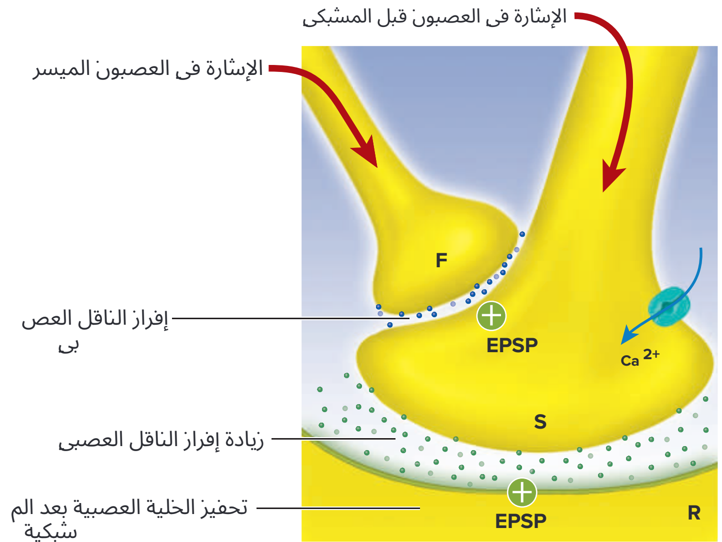


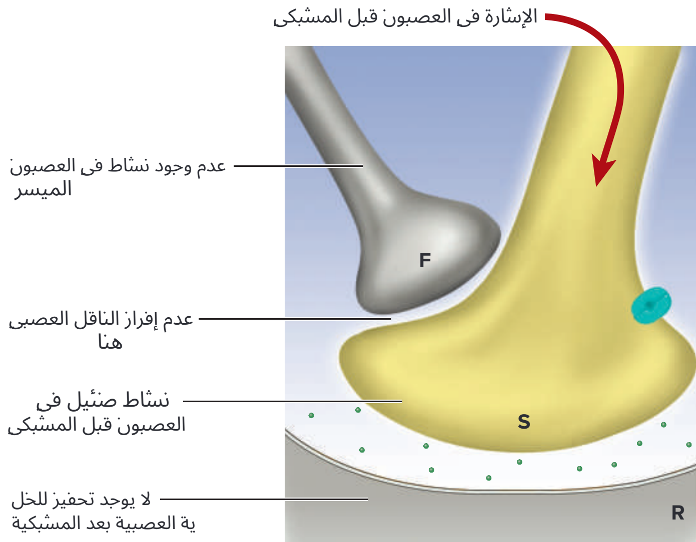
الشكل 12.27 تجميع EPSPs. كل منبه (السهم) ينتج EPSP واحد. إذا و
صلت كمية كافية من EPSPs إلى منطقة الزناد أسرع من أن تتلاشى، يم
كنها أن تتراكم مع بعضها لتصل بالعصبون إلى العتبة وتحفز جهد فعل.

التل. قد يولد أى مشبك عصبى إشارة ضعيفة فقط،
لكن عدة مشابك تعمل معًا يمكن أن ترفع التل إلى
عتبة الإطلاق. تتعاون الخلايا العصبية قبل المشبكية لتحفيز

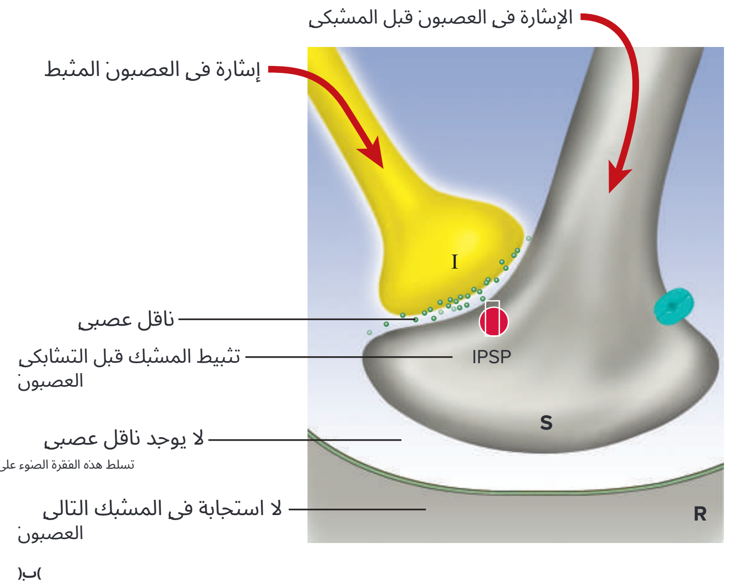
الخلايا العصبية بعد المشبكية على الإطلاق.

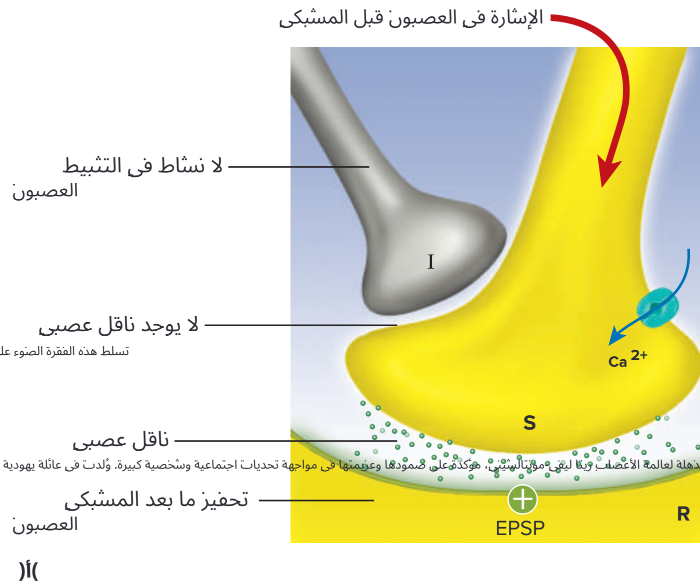
تعمل الخلايا العصبية عادةً فى مجموعات لتعديل أفعال بعضها البعض.
التسهيل قبل المشبكى هو عملية يعزز فيها خلية عصبية واحدة
تأثير أخرى. الشكل 12.28 يصور مثل هذا التفاعل بين





الشكل 12.28 التسهيل قبل المشبكى. F، العصبون الميسر؛ S، العصبون المحفز؛ R، العصبون التالى للمشبك المستجيب؛ +، الإث
(جهد ما بعد المشبك المثبط). (أ) عدم نشاط العصبون R بسبب غياب التحفيز من العصبون F. (ب) نشاط العصبون R بسبب تحفيز (تسهيل)
المشبك S-R بواسطة العصبون F.

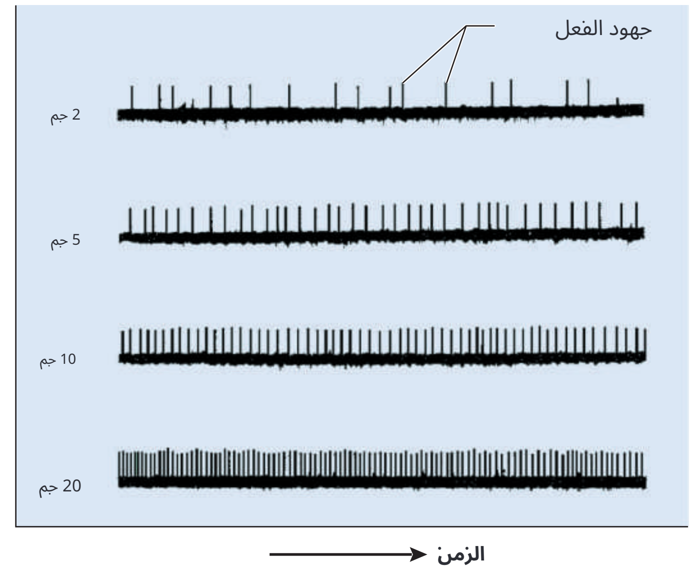




الشكل 12.29 التثبيط قبل المشبكى. S، العصبون المحفز؛ I، العصبون المثبط؛ R، العصبون التالى المستجيب؛ +، إثارة (EPSP)؛ –، تثبيط (IPSP).)أ(النشاط فى المشبك بين S وR فى غياب التثبيط بواسطة العصبون I.)ب(نشاط العصبون I الذى يثبط النقل المشبكى بين S وR.

طريقة أخرى لترميز قوة المنبه تعتمد على حقيقة أن كلما تم تحفيز العصبون بقوة أكبر، زادت وتيرة إطلاقه للإشارات. قد يتسبب المنبه الضعيف فى توليد العصبون 6 إمكانات فعلية فى الثانية، بينما المنبه القوى قد يولد 600 إمكان فعلية فى الثانية. وبالتالى، يمكن للجهاز العصبى المركزى تقدير قوة المنبه من تردد إطلاق العصبونات الواردة)الشكل 12.30(.

هناك حد لعدد المرات التى يمكن للعصبون أن يطلق فيها الإشارة، وهو محدد بفترة الراحة المطلقة الخاصة به. بالمثل، تخيل كاميرا قديمة بها



الشكل 12.30 مثال على الترميز العصبى. هذا الشكل مبنى على تسجيلات مأخوذة من ليف حسّى فى عصب الساق الضفدعى)العصب الوركى(أثناء تمدد عضلة المعدة الساقطة عن طريق تعليق أوزان عليها. مع زيادة قوة المنبه)الوزن(والتمدد، تزداد ترددات إطلاق العصبون. تردد الإطلاق هو رسالة مشفرة تُعلم الجهاز العصبى المركزى بشدة المنبه.

بأى طريقة أخرى يُعلم الجهاز العصبى المركزى بشدة المنبه؟

بالنظر إلى تعقيد المعلومات التى يجب نقلها عن الحالات داخل الجسم وحوله، يبدو من المدهش أن يتم ذلك فى شكل شيء بسيط مثل إمكانات الفعل—خصوصًا وأن جميع إمكانات الفعل فى عصبون معين متطابقة فى الأساس. ومع ذلك، عندما نظرنا فى الشفرة الجينية فى الفصل 4، رأينا أن الرسائل المعقدة يمكن بالفعل التعبير عنها بشفرة بسيطة. الطريقة التى يحول بها الجهاز العصبى المعلومات إلى نمط ذى معنى من إمكانات الفعل تُسمى الترميز العصبى)أو *الترميز الحسى* عندما يحدث فى أعضاء الحواس(.

أهم آلية لنقل المعلومات النوعية هى شفرة الخط الموسوم. تعتمد هذه الشفرة على حقيقة أن كل ليف عصبى إلى الدماغ يأتى من مستقبل يتعرف تحديدًا على نوع معين من المنبهات. على سبيل المثال، تحمل الألياف العصبية فى العصب البصرى إشارات فقط من مستقبلات الضوء فى العين؛ هذه الألياف لا تحمل أبدًا معلومات عن الطعم أو الصوت. لذلك يفسر الدماغ أى إشارات فى تلك الألياف على أنها ضوء—حتى لو كانت الإشارات ناتجة عن تحفيز اصطناعى للعصب. يُرى هذا التأثير عندما تفرك جفنيك وترى ومضات ضوء نتيجة الضغط على كرة العين الذى يحفز ميكانيكيًا ألياف العصب البصرى. يمكن للتحفيز الكهربائى للعصب السمعى أن يمكن الصم من سماع أصوات بترددات مختلفة، حتى عندما تكون المستقبلات فى الأذن الداخلية غير وظيفية. وهكذا، كل ليف عصبى إلى الدماغ هو خط اتصال "موسوم"، أو معترف به من قبل الدماغ، على أنه يمثل جودة منبه معينة—لون الضوء، نغمة الصوت، أو الطعم المالح أو الحامض، على سبيل المثال.

المعلومات الكمية—المعلومات عن شدة المنبه—يتم ترميزها بطريقتين. تعتمد إحداهما على حقيقة أن العصبونات المختلفة لها عتبات تحفيز مختلفة. المنبه الضعيف يحفز العصبونات الحساسة ذات العتبات الأدنى، بينما المنبه القوى يحفز العصبونات ذات العتبات العالية الأقل حساسية. إدخال عصبونات إضافية فى اللعب مع زيادة شدة المنبه يُسمى التجنيد. يتيح هذا للجهاز العصبى تقدير شدة المنبه من خلال معرفة أى العصبونات، وكم عددها، التى تنشط.

فلاشٌ إلكتروني يحتاج إلى 5 ثوانٍ لإعادة الشحن بعد كل صورة. في أفضل الأحوال، يمكن التقاط 12 صورة فقط في الدقيقة باستخدامه. و بالمثل، إذا استغرق ليف عصبي 1 مللي ثانية لإعادة الاستقطاب بعد أن أ طلق إشارة، فلا يمكنه الإطلاق أكثر من 1000 مرة في الثانية. قد تكون فترا ت الامتناع قصيرة تصل إلى 0.5 مللي ثانية، مما يحدد حدًا نظريًا لتردد الإ طلاق يبلغ 2000 جهد فعل في الثانية. ومع ذلك، فإن أعلى الترددات التي لوحظت فعليًا تتراوح بين 500 إلى 1000 في الثانية.

باختصار، تثير المحفزات الخفيفة الخلايا العصبية الحساسة ذا ت العتبة المنخفضة. مع زيادة شدة المحفز، تطلق هذه الخلايا الع صبية إشارات بتردد أعلى وأعلى، حتى تصل إلى حد أقصى معين. إذ ا تجاوزت شدة المحفز قدرة هذه الخلايا العصبية ذات العتبة المنخ فضة، فقد يتم استدعاء خلايا عصبية أقل حساسية ذات عتبة عالية لتبدأ في الإطلاق. زيادة أخرى في الشدة تؤدي إلى إطلاق هذه الخلايا العصبية ذات العتبة العالية بتردد أعلى وأعلى.

طبق ما تعرفه

كيف يرتبط استدعاء الخلايا العصبية بعملية جمع وحدات الحركة المتعددة)انظر القسم 11.5ب(؟

12.6د تجمعات ودوائر عصبية

حتى الآن، تعاملنا مع التفاعلات التي تشمل خليتين أو ثلاث خلايا ع صبية في كل مرة. في الواقع، تعمل الخلايا العصبية في مجموعات أ كبر تُسمى تجمعات عصبية، كل منها قد يتكون من آلاف الخلايا الع صبية البينية التي تهتم بوظيفة جسدية معينة — واحدة للتحكم في إ يقاع تنفسك، وأخرى لتحريك أطرافك بشكل إيقاعي أثناء المشي، وأخ رى لتنظيم شعورك بالجوع، وأخرى لتفسير الروائح، على سبيل المثال. في هذه المرحلة، نستكشف بعض الطرق التي تعالج بها التجمعات العصبية المعلومات بشكل جماعي.

مناطق الإطلاق والتسهيل

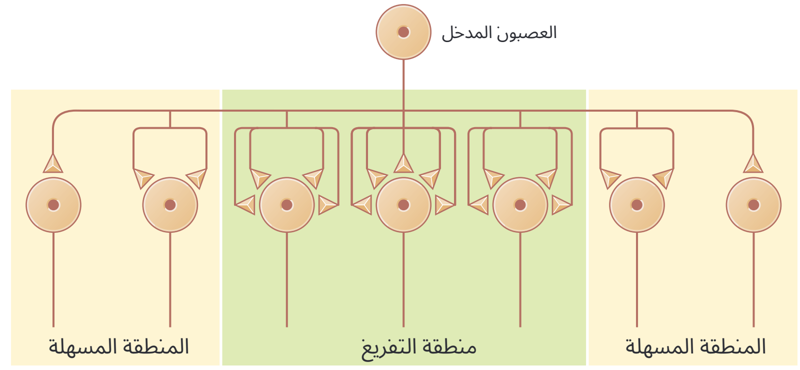
تصل المعلومات إلى التجمع العصبي عبر خلية عصبية وا حدة أو أكثر، والتي تتفرع مرارًا وتتصل تشابكيًا مع العديد من الخلايا العصبية البينية في التجمع. بعض خلايا الإدخا ل تشكل تشابكات متعددة مع خلية ما بعد التشابك واحد ة. يمكنها إنتاج جهدات إثارة ما بعد التشابك)EPSPs(ف ي جميع نقاط الاتصال مع تلك الخلية، ومن خلال الجمع ا لمكاني، تجعلها تطلق بسهولة أكبر مما لو كانت متشابكة معها في نقطة واحدة فقط. داخل منطقة الإطلاق لخلية ا لإدخال، يمكن لتلك الخلية بمفردها أن تجعل خلية ما بعد التشابك تطلق)الشكل 12.31(. ولكن في منطقة التسه يل الأوسع، تتشابك مع خلايا عصبية أخرى في التجمع، م ع عدد أقل من التشابكات على كل منها. يمكنها تحفيز تلك الخلايا على الإطلاق فقط بمساعدة خلايا إدخال أخرى ؛ أي أنها تسهل الأخرى.

لها "صوت" في ما ستفعله خلايا ما بعد التشابك في م نطقة التسهيل، لكنها لا تستطيع تحديد النتيجة بمفرده ا. مثل هذه الترتيبات، التي تتكرر آلاف المرات في جمي ع أنحاء الجهاز العصبي المركزي، تمنح التجمعات العص بية مرونة كبيرة في دمج المدخلات من مصادر متعددة واتخاذ قرار بشأن المخرجات المناسبة.

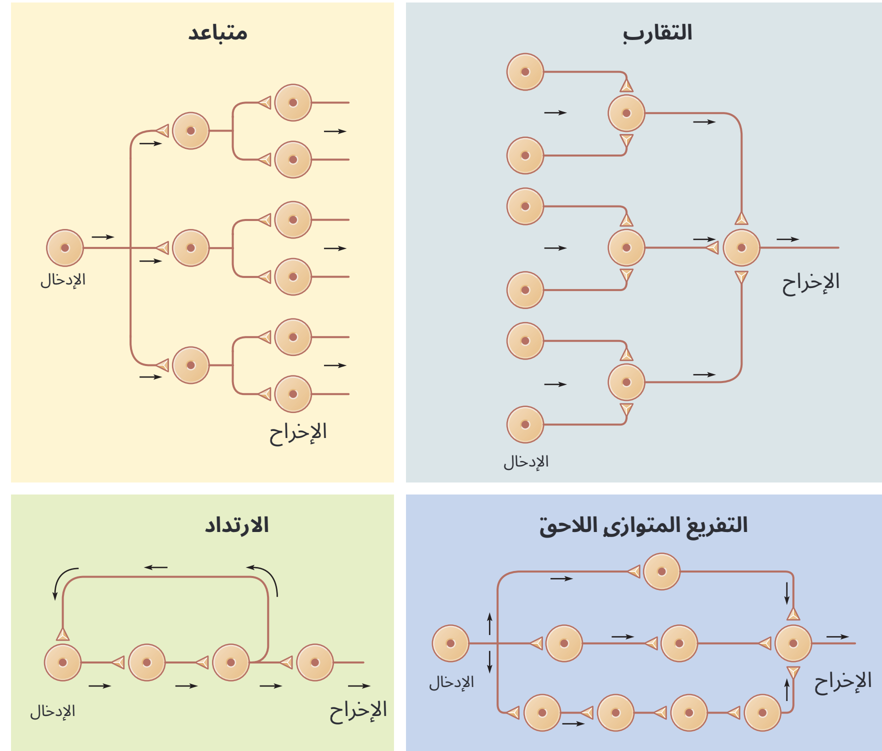
أنواع الدوائر العصبية

يمكن فهم عمل الراديو من خلال مخطط الدائرة الذي يو ضح مكوناته واتصالاتها. وبالمثل، تُحدد وظائف التجمع العصبي جزئيًا من خلال الدائرة العصبية الخاصة به — المسارات بين خلاياها العصبية. تمامًا كما يتم بناء مجموعة واسعة م ن الأجهزة الإلكترونية من عدد محدود نسبيًا من أنواع الدوائر، تنتج مج موعة واسعة من الوظائف العصبية من تشغيل أربعة أنواع رئيسية من الدوائر العصبية)الشكل 12.32(:

1. في دائرة متفرعة، ينقل عصبون فردي الإشارات إلى عدة ع صبونات لاحقة، أو قد تنقل مجموعة عصبية واحدة المخرجا ت إلى عدة مجموعات عصبية لاحقة.
كل من تلك العصبونات أو المجموعات العصبية قد تتواصل مع عدة أخرى، لذا فإن المدخلات من مسار واحد فقط قد تنتج مخرجات عبر مئات المسارات الأخرى. تسمح هذه الدائر ة بأن تحفز الإشارات من عصبون حركي واحد في الدماغ، على س بيل المثال، في النهاية آلاف الألياف العضلية.



الشكل 12.31 المناطق المسهلة ومنطقة التفريغ في مجموعة عصبية.



الشكل 12.32 أربعة أنواع من الدوائر العصبية. تشير الأسهم إلى اتجاه إشارة العصب.

أي من هذه الدوائر الأربعة من المرجح أن تستمر في الإطلاق لأطول فترة بعد توقف المنبه؟ لماذا؟

2. الدائرة التقاربية هى عكس الدائرة المتفرعة—حيث يتم توجيه الإدخال من العديد من الخلايا العصبية أو تجمعات الخلايا العصبية إلمسارات وسيطة أو مخرجات أقل وأقل. على سبيل المثال، لديك مركز تنفسى فى جذع الدماغ يستقبلمعلومات متقاربة من أجزاء أخرى من دماغك، ومستشعرات كيمياء الدم فى شرايينك، ومستقبلات التمدد فيرئتيك. يمكن للمركز التنفسى بعد ذلك إنتاج مخرج يأخذ كل هذه العوامل فى الاعتبار ويحددنمط التنفس المناسب.

3. فى دائرة الارتداد، تحفز الخلايا العصبية بعضها البعض فيتسلسل خطى من الخلايا العصبية المدخلة إلى المخرجة، لكن بعضالخلايا العصبية فى نهاية المسار ترسل فروع محورية)axon collaterals(إلى خلايا عصبيةفى بداية المسار وتعيد تحفيزها. كنموذج مبسط للغاية لمثل هذه الدائرة، اعتبر مسارًا مثل A → B → C → D، حيث ترسل الخلية العصبية C فرعًا محوريًاإلى A. ونتيجة لذلك، فى كل مرة تطلق فيها C إشارة، فإنها لا تحفز فقط الخلية العصبية المخرجة D ،بل تعيد أيضًا تحفيز A وتبدأ العملية من جديد. تنتج هذه الدائرة تأثيرًا مطولاًأو متكررًا يستمر حتى تتوقف خلية عصبية واحدة أو أكثر فى الدائرة عن الإطلاق، أو إشارة مثبطة من مصدر آخر تمنعإحدى هذه الخلايا من الإطلاق. ترسل دائرة الارتداد إشارات متكررة إلى الحجاب الحاجز وعضلاتبين الأضلاع، على سبيل المثال، لجعلك تستنشق. يضمن الإخراج المستمر من الدائرة انقباض عضلات التنفسلمدة حوالى ثانيتين، وهى المدة التى يستغرقها عادةً ملء الرئتين. عندما تتوقف الدائرة عن الإطلاق، تزفر؛وعندما تطلق الدائرة مرة أخرى، تستنشق.قد تكون دوائر الارتداد أيضًا متورطة فيالذاكرة قصيرة المدى، كما سيناقش فى القسم التالى، وقد تلعب دورًا فى "العواصف" غير المنضبطة للنشاط العصبيالتى تحدث فى الصرع.

٤. فى دائرة التفريغ اللاحق المتوازية، يتفرع العصبون المدخل ليحفز عدة سلاسل من العصبونات. كل سلسلة تحتوى على عدد مختلف من المشابك العصبية، لكنها فى النهاية تتلاقى مرة أخرى على عصبون أو عدة عصبونات مخرجة. وبما أن السلاسل تختلف فى إجمالى تأخير المشبك العصبى، فإن إشاراتها تصل إلى العصبونات المخرجة فى أوقات مختلفة، وقد تستمر العصبونات المخرجة فى الإطلاق لفترة من الزمن بعد توقف المدخلات. وعلى عكس الدائرة المُرجعة)reverberating(، لا يحتوى هذا النوع على حلقة تغذية راجعة. بمجرد أن تطلق جميع العصبونات فى الدائرة، يتوقف الإخراج. استمرار الإطلاق بعد توقف المنبه يُسمى *التفريغ اللاحق*. وهو يفسر سبب قدرتك على التحديق فى مصباح، ثم إغلاق عينيك ومواصلة رؤية صورته لفترة من الوقت. كما أن هذه الدائرة مهمة أيضًا فى ردود الفعل الانسحابية، حيث يُنتج ألم قصير إخراجًا أطول مدة لعضلات الأطراف ويجعلك تسحب يدك أو قدمك بعيدًا عن الخطر.

المعالجة التسلسلية والمتوازية

فيما يتعلق بأنواع الدوائر هذه، يتعامل الجهاز العصبى مع المعلومات بطريقتين تُسمى المعالجة التسلسلية والمعالجة المتوازية. فى المعالجة التسلسلية، تقوم الخلايا العصبية ومجموعات الخلايا العصبية بنقل المعلومات على طول مسار بطريقة خطية بسيطة نسبيًا، ولا يمكنها معالجة سوى تدفق واحد من المعلومات فى كل مرة. على سبيل المثال، يمكنك قراءة بريدك الإلكترونى أو الاستماع إلى محاضرة فى الصف، ومراكز التعرف على اللغة فى دماغك يمكنها معالجة مدخل لغوى واحد أو الآخر؛ ومع ذلك، لا يمكنك القيام بالأمرين فى نفس الوقت. لفهم البريد الإلكترونى، عليك التوقف عن الانتباه إلى المحاضرة؛ لفهم المحاضرة، عليك التوقف عن التحقق من بريدك الإلكترونى. قد تنتقل ذهابًا وإيابًا بين الاثنين، مما يجعلك تفهم كلًا منهما جزئيًا فقط، لكن لا يمكنك معالجة الرسالة المكتوبة فى البريد الإلكترونى واللغة المنطوقة فى المحاضرة فى نفس الوقت. يجب معالجة كل منهما بشكل منفصل ومتسلسل.

فى المعالجة المتوازية، تُنقل المعلومات عبر دوائر متفرعة من خلال مسارات مختلفة تعمل عليها فى الوقت نفسه، لأغراض مختلفة. على سبيل المثال، عندما تقود سيارتك، يجب على نظامك البصرى)العين والدماغ(أن يعالج فى الوقت نفسه معلومات عن اللون، الشكل، عمق المجال، والحركة فى المشهد أمام عينيك. هذا يتطلب دوائر معالجة متوازية معقدة من شبكية عينيك مرورًا بمراكز الرؤية فى الجزء الخلفى من دماغك. فى الوقت نفسه، يجب عليك معالجة أصوات المرور والإشارات من مستشعرات المفاصل والحركة فى جسمك لتعرف، على سبيل المثال، مدى قوة ضغطك على دواسة الوقود أو الفرامل. المعالجة الفعالة والمتزامنة لمثل هذه المعلومات أمر حاسم لقدرتك على القيادة بأمان.

بالتأكيد يحدث المعالجة التسلسلية والمتوازية أيضًا فى العديد من العمليات اللاواعية التى هى أبسط بكثير من الأمثلة السابقة. فى الفصل 13، يجب أن تكون قادرًا على رؤية كيف تنطبق هذه العمليات على بعض ردود الفعل الشوكية.

12.6e الذاكرة واللدونة المشبكية

ربما تساءلت أثناء دراستك لهذا الفصل، كيف سأتمكن من تذكر كل هذا؟ من المناسب أن ننهى هذا الفصل بموضوع كيفية عمل الذاكرة، لأنك الآن تمتلك المعلومات اللازمة لفهم أساسها الخلوى والكيميائى.

الأشياء التى نتعلمها ونتذكرها لا تُخزن فى "خلايا الذاكرة" الفردية فى الدماغ. على سبيل المثال، ليس لديك عصبون مخصص لتذكر رقم هاتفك وآخر لتذكر وجه جدتك. بدلاً من ذلك، الأساس الفيزيائى للذاكرة هو مسار فى الدماغ يُسمى أثر الذاكرة

(**engram**)[30]، حيث تتكون نقاط الاشتباك العصبى الجديدة أو يتم تعديل نقاط الاشتباك العصبى الموجودة لتسهيل النقل. بعبارة أخرى، نقاط الاشتباك العصبى ليست ثابتة مدى الحياة؛ استجابةً للتجربة، يمكن إضافتها أو إزالتها أو تعديلها لتسهيل أو تعقيد النقل. فى الواقع، يمكن إنشاء أو حذف نقاط الاشتباك العصبى فى غضون ساعة أو ساعتين فقط. تُسمى قدرة نقاط الاشتباك العصبى على التغير

اللدونة المشبكية.

فكر فى الوقت الذى تعلمت فيه كطفل ربط حذائك. ربما وجدت الإجراء بطيئًا ومربكًا وشاقًا فى البداية، لكنه أصبح فى النهاية سهلاً جدًا بحيث يمكنك القيام به بقليل من التفكير—مثل برنامج حركى يتنقل فى دماغك دون الحاجة إلى انتباهك الواعى. أصبح الأمر أسهل لأن المشابك العصبية فى مسار معين تم تعديلها للسماح للإشارات بالانتقال عبرها بسهولة أكبر مقارنة بالمشابك "غير المدربة"، مما خلق بذلك *ذاكرة الحركة* الخاصة بك للمهمة. تُسمى عملية تسهيل النقل التعزيز المشبكى)شكل من أشكال اللدونة المشبكية(.

لا يزال علماء الأعصاب يجادلون حول كيفية تصنيف الأشكال المختلفة للذاكرة، لكن هناك ثلاثة أنواع غالبًا ما يتم التعرف عليها وهى *الذاكرة الفورية*

[30] *en* = داخلى؛ *gram* = علامة، أثر، سجل

الذاكرة طويلة الأمد

الذاكرة طويلة الأمد)LTM(تدوم حتى مدى الحياة وهي أقل محدودية من الذاكرة قصيرة الأمد)STM(من حيث كمية المعلومات التي يمك ن تخزينها. تتيح لك الذاكرة طويلة الأمد حفظ نص مسرحية، كلمات أ غنية مفضلة، أو)نأمل!(معلومات من كتاب دراسي لامتحان. وعلى م دى زمني أطول، تمكنك من تذكر اسمك، الطريق إلى منزلك، وتجارب طفولتك.

هناك نوعان من الذاكرة طويلة الأمد: صريحة وضمنية. الذاكرة ال صريحة أو الذاكرة التصريحية هي الاحتفاظ بالأحداث والحقائق التي يم كنك التعبير عنها بالكلمات—الأرقام، الأسماء، التواريخ، وهكذا. يجب أ ن تفكر لتتذكر هذه الأشياء.

الذاكرة الضمنية هي ذاكرة الأشياء التي تأتي بشكل انعكاسي أو لاواعي ، بما في ذلك الذكريات العاطفية)مثل الخوف من اللدغ إذا هبطت د بور عليك(والذاكرة الإجرائية، وهي الاحتفاظ بالمهارات الحركية—كيف ية ربط حذائك، العزف على آلة موسيقية، أو الكتابة على لوحة المفاتيح . هذه الأشكال من الذاكرة تنطوي على مناطق مختلفة من الدماغ لكنه ا ربما تكون متشابهة على المستوى الخلوي.

بعض الذاكرة طويلة الأمد تتضمن إعادة تشكيل فيزيائية للمشاب ك العصبية أو تكوين مشابك جديدة من خلال نمو وتفرع نهايات المحا ور العصبية والتغصنات. في خلايا الهرمية في الدماغ، تكون التغصنا ت مزينة بأشواك تغصنية على شكل عقد تزيد من مساحة الاتصال ال مشبكي)انظر الشكل 12.5أ(. أظهرت الدراسات على الأسماك وحيوا نات تجريبية أخرى أن الحرمان الاجتماعي والحسي يسبب انخفاضًا ف ي عدد هذه الأشواك، بينما البيئة الغنية بالمحفزات تسبب تكاثرها— وهي إشارة مثيرة لأهمية البيئة المحفزة في نمو الرضع والأطفال. في بعض حالات الذاكرة طويلة الأمد، ينمو مشبك جديد بجانب المشبك ا لأصلي، مما يمنح الخلية قبل المشبكية ضعف المدخلات إلى الخلية بعد المشبكية.

يمكن أيضًا أن تستند الذاكرة طويلة الأمد إلى تغييرات جزيئية ت سمى التقوية طويلة الأمد)LTP(. هذا يشمل مستقبلات *NMDA* ، [31] وهي مستقبلات مرتبطة بالغلوتامات توجد على الأشواك التغصنية لخ لايا الهرمية. عادةً ما تكون مستقبلات NMDA محجوبة بأيونات المغ نيسيوم)Mg^{2+}(، ولكن عندما ترتبط بالغلوتامات وتتعرض في نفس ا لوقت لتحفيز عالي التردد، تطرد Mg^{2+} وتفتح للسماح بدخول Ca^{2+} إ لى التغصن. عندما يدخل Ca^{2+} إلى خلايا الهرمية، يعمل كرسول ثانوي له تأثيرات متعددة. مستوى Ca^{2+} العالي ينشط إنزيمات تسمى كيناز ات البروتين، التي تقوم بفوسفرة)إضافة الفوسفات إلى(البروتينات ا لمستخدمة في بناء وتقوية المشابك العصبية. كما ينتج العصبون المز يد من مستقبلات NMDA، مما يجعله أكثر حساسية للغلوتامات، ويق د يرسل إشارات مثل أكسيد النيتريك)NO(إلى الخلية قبل المشبكية لتعزيز إطلاق الناقل العصبي.

يمكنك أن ترى أنه بهذه الطرق جميعها، يمكن للتقوية طويلة الأم د أن تزيد من النقل عبر المشابك "التي تم اختبارها".

إعادة تشكيل المشبك أو تركيب المزيد من مستقبلات الناقل العص بي له تأثيرات تدوم لفترة أطول من التسهيل أو التقوية بعد التحفيز ا لتتاني.

[31] إن-ميثيل-دي-اسبارتات، مركب كيميائي مشابه للغلوتامات

قصيرة المدى، و *الذاكرة طويلة المدى*. نحن نعرف أيضًا أوضاعًا مختلفة من ا لتعزيز المشبكي التي تستمر من بضع ثوانٍ فقط إلى مدى الحياة، ويمكننا ربط هذه على الأقل بشكل مبدئي بأشكال مختلفة من الذاكرة.

الذاكرة الفورية

الذاكرة الفورية هي القدرة على الاحتفاظ بشيء في الذهن لبضع ثوانٍ فقط. من خلال تذكر ما حدث للتو، نحصل على شعور بتدفق الأحداث وإحساس بالحاضر. الذاكرة الفورية ضرورية للقدرة على القراءة؛ يجب أن تتذكر الكلمات الأولى من الجملة حتى تصل إلى نهايتها لاستخلا ص أي معنى منها. لا يمكنك فهم ما تقرأه إذا نسيت كل كلمة بمجرد الانتقال إلى الكلمة التالية. قد تستند الذاكرة الفورية إلى دوائر مترددة. يمكن أن يتردد صدى انطباعنا عما حدث للتو في أذهاننا لبضع ثوانٍ بينما نختبر اللحظة الحالية ونتوقع التالية.

الذاكرة قصيرة المدى

الذاكرة قصيرة المدى)STM(تستمر من بضع ثوانٍ إلى بضع ساعات. قد تُنسى المعلومات المخزنة في STM بسرعة إذا توقفت عن ترديده ا ذهنيًا، أو تم تشتيت انتباهك، أو كان عليك تذكر شيء جديد. الذاكرة العاملة هي شكل من أشكال STM تسمح لك بالاحتفاظ بفكرة في الذ هن لفترة كافية لتنفيذ إجراء مثل طلب رقم هاتف بحثت عنه للتو، أو حل خطوات مسألة رياضية، أو البحث عن مجموعة مفاتيح مفقودة أ ثناء تذكرك الأماكن التي بحثت فيها بالفعل. وهي محدودة بعدد قليل من المعلومات مثل أرقام الهاتف. تشير الأدلة إلى أن الذاكرة العاملة تقيم في دائرة من المشابك المعززة التي تبقى خاملة)تستهلك طاقة قليلة(معظم الوقت، لكنها تُعاد تنشيطها بواسطة تحفيز جديد.

تسهيل نقل الإشارات عبر المشبك العصبي يُسمى التسهيل الم شبكي)مختلف عن التسهيل الذي يحدث بين عصبون وآخر والذي در سناه سابقًا(. يمكن إنتاج التسهيل المشبكي بواسطة *التحفيز التتاني* ، وهو وصول سريع ومتكرر للإشارات عند المشبك العصبي. كل إشارة تسبب دخول كمية معينة من Ca^{2+} إلى نهاية المحور العصبي. إذا و صلت الإشارات بسرعة، لا يستطيع العصبون ضخ كل Ca^{2+} الذي دخ ل بسبب جهد الفعل الواحد قبل حدوث جهد الفعل التالي. يتراكم الم زيد والمزيد من Ca^{2+} في النهاية. وبما أن Ca^{2+} هو ما يحفز إطلاق النا قل العصبي، فإن كل إشارة جديدة تطلق كمية أكبر من الناقل العصبي مقارنة بالسابق. مع زيادة الناقل العصبي، تصبح EPSPs في الخلية بعد المشبكية أقوى وأقوى، وتصبح تلك الخلية أكثر احتمالًا لإطلاق إ شارة.

الذكريات التي تدوم لبضع ساعات، مثل تذكر ما قاله شخص ما لك في وقت سابق من اليوم أو تذكر موعد قادم، قد تتضمن التقوية بعد التحفيز التتاني. في هذه العملية، يبقى مستوى Ca^{2+} في نهاية ال محور العصبي مرتفعًا لفترة طويلة بحيث أن إشارة أخرى، تأتي بعد ف ترة طويلة من توقف التحفيز التتاني، تطلق دفعة استثنائية كبيرة من الناقل العصبي. بمعنى آخر، إذا تم استخدام المشبك بشكل مكثف ف ي الماضي القريب، يمكن لمنبه جديد أن يثير الخلية بعد المشبكية بسهولة أكبر. وهكذا، قد يحتاج ذاكرتك فقط إلى دفعة خفيفة لتسترج ع شيئًا من عدة ساعات مضت.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

22. قارن بين نوعي التجميع في التشابك العصبي و اشرح كيف يعملان في اتخاذ القرار التشابكي.
23. وصف كيف يتواصل الجهاز العصبي لنقل المعلومات الكمية والنوع ية حول المحفزات.
24. سرد الأنواع الأربعة للدارات العصبية ووصف أوجه التشابه والاختلاف بينها. مناقشة وحدة الشكل والوظيفة في هذه الأنواع الأربعة — أ ي شرح سبب عدم أداء كل نوع لوظيفته كما هو إذا كانت خلاياه الع صبية متصلة بطريقة مختلفة.
25. مقارنة المعالجة التسلسلية والمعالجة المتوازية ووصف كيف يم كن لكل منهما أن يشارك في تجاربك الذهنية اليومية.
26. بيان جوهر كيفية عمل الذاكرة الفورية، والقصيرة الأمد، والطويلة الأم د.
27. شرح كيف يؤثر التعزيز طويل الأمد)LTP(والتثبيط طويل الأمد)LT D(على ما تتذكره وما تنساه.

كيف ننسى

يمكن القول إن النسيان مهم بقدر التذكر؛ فمن المحتمل أن نصاب بالجنون إذا لم نستطع نسيان الكم الهائل من الأمور التافهة التي نواجه ها يوميًا. الأشخاص الذين يعانون من عدم القدرة المرضية على نسيا ن المعلومات التافهة يواجهون صعوبة كبيرة في فهم القراءة ووظائف أخرى تتطلب منا التمييز بين ما هو مهم وما هو غير مهم.

تختفي الذكريات الفورية والقصيرة الأمد ببساطة عندما تتوقف الد وائر العصبية عن الإطلاق. يمكن محو الذكريات طويلة الأمد من خلال ع ملية الكبت طويل الأمد)LTD(. يؤدي التحفيز منخفض التردد للتشاب ك العصبي إلى مستويات منخفضة من Ca^{2+} داخل الخلية. هذا ينشط *الفسفاتازات البروتينية*، التي تزيل الفسفرة من بروتينات التشابك الع صبي مثل خيوط الأكتين الدقيقة التي تدعم الأشواك الشجرية. ثم يتم تحلل هذه البروتينات بواسطة *البروتيازومات*)انظر الشكل 3.31 (، التي تهدم الأشواك الشجرية وتزيل التشابكات العصبية قليلة الاستخ دام من الدوائر العصبية.

تُناقش المواقع التشريحية للذاكرة في الدماغ في الفصل 14. ومع ذلك، بغض النظر عن المواقع، فإن الآليات الخلوية كما هو موصوف هنا.

نظرة أعمق 12.4



تطبيق سريري

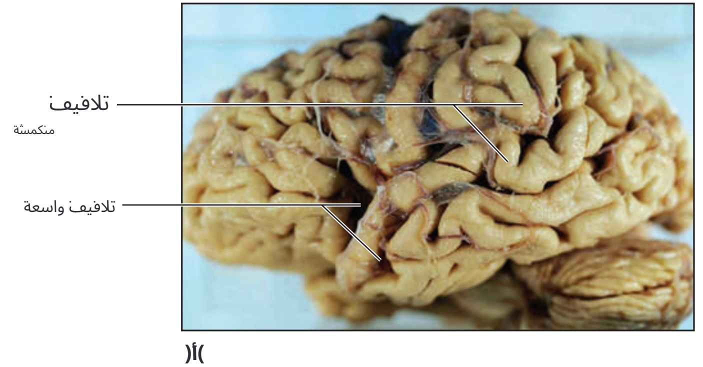
مرض الزهايمر ومرض باركنسون

مرض الزهايمر ومرض باركنسون هما أكثر الاضطرابات التنكسية شيوعًا في الدما غ. كلاهما مرتبط بنقص في الناقلات العصبية.

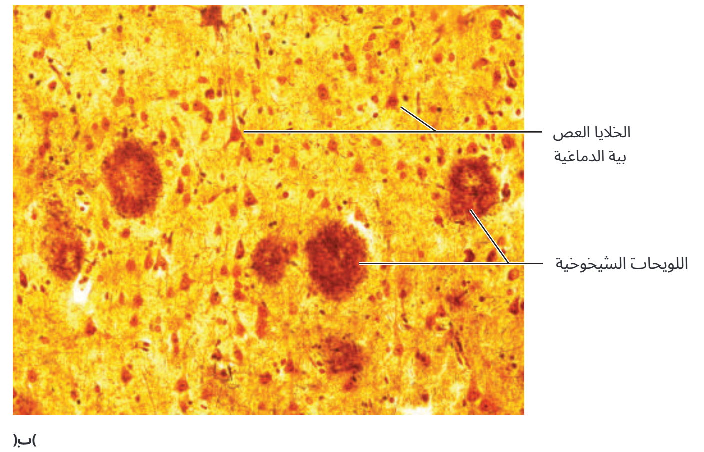
مرض الزهايمر[32] (AD) قد يبدأ قبل سن الخمسين بعلامات طفيفة وغامضة تجعل التشخيص المبكر صعبًا. واحدة من أولى علاماته هي فقدان الذاكرة، خاصة للأحداث الأخيرة. قد يسأل الشخص المصاب بـ AD نفس الأسئلة مرارًا وتكرارًا، و يظهر انخفاضًا في فترة الانتباه، ويصبح مشوشًا وضائعًا في أماكن كانت مألوفة سابقًا. غالبًا ما يشعر أفراد العائلة بالعجز والارتباك بينما يشاهدون شخصية أحبائه م تتدهور تدريجيًا إلى ما بعد التعرف عليها. قد يصبح مريض AD مزاجيًا، مشوشًا، بارانويديًا، عدوانيًا، أو يعاني من الهلوسة. قد يفقد المريض في النهاية حتى القدرة على القراءة، والكتابة، والكلام، والمشي، والأكل. عادةً ما يحدث الوفاة بسبب الال تهاب الرئوي أو مضاعفات أخرى ناجمة عن الحبس وعدم الحركة.

يؤثر مرض AD على حوالي 11% من سكان الولايات المتحدة الذين تزيد أعمارهم عن 65 عامًا؛ وترتفع نسبة الإصابة إلى 47% بحلول سن 85. وهو يمثل ما يقرب من نصف حالات الدخول إلى دور رعاية المسنين ويعد سببًا رئيسيًا للوفاة بين كبار السن. يسبب مرض AD وفاة حوالي 100,000 شخص سنويًا في الولايات المتحدة.

يمكن تأكيد تشخيص مرض AD عن طريق التشريح بعد الوفاة. هناك ضمور في بعض التلافيف)الطيّات(في قشرة الدماغ والحصين، وهو مركز مهم للذاكرة. تظهر خلايا الأعصاب تشابكات ليفية عصبية — كتل كثيفة من الهيكل الخلوي الم كسور والمُلتوي)الشكل 12.33(. لاحظ ألويس ألزهايمر هذه لأول مرة في عام 19 07 في دماغ مريض توفي من الخرف الشيخوخي. كلما كانت علامات المرض أك ثر حدة، زادت التشابكات الليفية العصبية التي تُرى في التشريح بعد الوفاة. في ال فراغات بين الخلايا، توجد لويحات شيخوخية تتكون من تجمعات من الخلايا، والأ لياف العصبية المتغيرة، ونواة من بروتين بيتا-أميلويد — وهو ناتج تحلل جليكوبرو تين من أغشية البلازما. نادرًا ما يُرى بروتين الأميلويد في كبار السن الذين لا يعانو ن من AD. يُعتقد الآن على نطاق واسع أن الإجهاد التأكسدي)إصابة الجذور الحرة(هو السبب الأساسي لتكوين بروتين الأميلويد والتشابكات الليفية العصبية، وجمي ع الجوانب الأخرى لمرض AD. وقد أدى ذلك إلى اهتمام بما إذا كان



)أ(



)ب(

الشكل 12.33 مرض ألزهايمر.)أ(دماغ شخص توفي بسبب AD. لاحظ ا لطيات المنكمشة للنسيج الدماغي)التلافيف(والفجوات الواسعة)ا لتلافيف(بينها.)ب(نسيج دماغي من شخص مصاب بـ AD. الكتل ال برتقالية الكثيفة هي اللويحات الشيخوخية المميزة لـ AD.

أ: مصدر علمي؛ ب: خوسيه لويس كالفو/Shutterstock

[32] الويس ألزهايمر)٦٨١٤-٥١٩١(، عالم الأعصاب الألماني

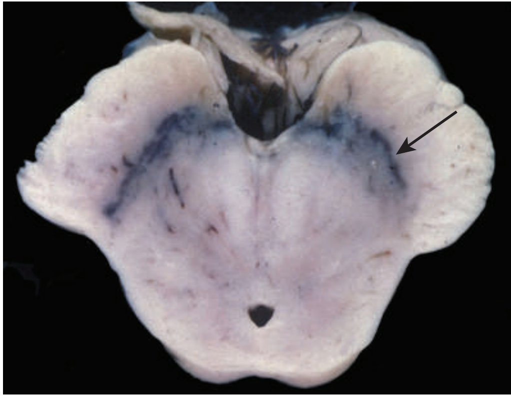
قد تصبح عضلات الوجه متصلبة وتنتج وجهًا ثابتًا بلا تعبير مع فم مفتوح قليلاً. يعا
نى المرضى من نطاق حركة محدود. يأخذون خطوات أصغر ويطورون مشية بطيئة
ومترددة مع انحناء إلى الأمام وميل للسقوط إلى الأمام. يصبح الكلام غير واضح و
تصبح الكتابة اليدوية ضيقة وفى النهاية غير مقروءة. تصبح المهام مثل ربط الملا
بس وتحضير الطعام أكثر صعوبة.

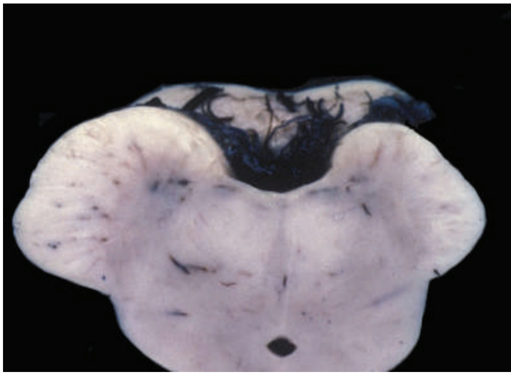
لا يمكن توقع تعافى المرضى من مرض باركنسون، لكن يمكن تخفيف آثاره با
لأدوية والعلاج الطبيعى. العلاج بالدوبامين غير فعال لأنه لا يستطيع عبور الحاجز ا
لدموى الدماغى، لكن سلفه، ليفودوبا)l-dopa(، يعبر الحاجز وقد استُخدم لعلاج م
رض باركنسون منذ الستينيات. يوفر l-dopa بعض الراحة، لكنه لا يبطئ تقدم الم
رض وله آثار جانبية غير مرغوبة ويكون فعالًا فقط لمدة 5 إلى 10 سنوات.

تقنية جراحية تسمى استئصال الكرة الشاحبة)pallidotomy(استُخدمت منذ ا
لأربعينيات لكبح الرعشات الشديدة. تتضمن تدمير جزء صغير من نسيج الدماغ فى م
نطقة تسمى الكرة الشاحبة)globus pallidus(. فقد استُخدمت استئصال الكرة ال
شاحبة بشكل أقل فى أواخر الستينيات عندما أصبح l-dopa شائع الاستخدام.
بحلول أوائل التسعينيات، أصبحت حدود استخدام l-dopa واضحة، بينما حسنت
طرق التصوير بالرنين المغناطيسى)MRI(والأشعة المقطعية)CT(دقة الجراحة و
قللت من مخاطر جراحة الدماغ. لذلك عاد استئصال الكرة الشاحبة إلى الاستخدام.
تستهدف العلاجات الجراحية الأخرى لمرض باركنسون مناطق دماغية أخرى وتت
ضمن إما تدمير مناطق صغيرة من النسيج أو زرع قطب كهربائى محفز. تُستخدم
هذه الإجراءات عادةً فقط فى الحالات الشديدة التى لا تستجيب للأدوية.

يمكن لمضادات الأكسدة الغذائية أو العلاج بمضادات الأكسدة تقليل حدوث أو
تقدم مرض ألزهايمر.
تُوجه جهود البحث الطبى الحيوى المكثفة حالياً نحو
تحديد أسباب مرض ألزهايمر وتطوير استراتيجيات العلاج.
تم ربط ثلاثة جينات على الكروموسومات ١ و١٤ و١٢
بأشكال مختلفة من مرض ألزهايمر المبكر والمتأخر. ومن المثير للاهتمام، أن الأشخاص المصابين
بمتلازمة داون)التثلث الصبغى ١٢(، الذين لديهم ثلاث نسخ من الكروموسوم ١٢
بدلاً من النسختين المعتادتين، يميلون إلى طهور مرض ألزهايمر فى سن مبكرة.
يبدو أن العوامل غير الوراثية)البيئية(متورطة أيضاً.
أما بالنسبة للعلاج، فيتركز الاهتمام حالياً بشكل كبير على محاولة
إيقاف تكوين بيتا-أميلويد أو تحفيز الجهاز المناعى لإزالة
بيتا-أميلويد من نسيج الدماغ.
مرض باركنسون[33]، المعروف أيضًا باسم الشلل الرعاش أو باركنسونية، هو فقد
ان تدريجى للوظيفة الحركية يبدأ عادة فى الخمسينيات أو الستينيات من عمر ال
شخص. يحدث ذلك بسبب تدهور الخلايا العصبية التى تفرز الدوبامين فى جزء م
ن جذع الدماغ يُسمى المادة السوداء)الشكل 12.34(. تم تحديد جين مؤخرًا لشكل
وراثى من مرض باركنسون، لكن معظم الحالاتغير وراثيةومسبباتها غير معروفة إ
لى حد كبير؛ ويشتبه بعض الخبراء فى وجود سموم عصبية بيئية.

الدوبامين)DA(هو ناقل عصبى مثبط يمنع عادةً النشاط المفرط فى مراكز الح
ركة فى الدماغ المسماة بالنوى القاعدية. يؤدى تدهور الخلايا العصبية التى تفرز ال
دوبامين إلى زيادة نسبة الأستيل كولين)ACh(إلى الدوبامين، مما يسبب فرط ن
شاط النوى القاعدية.
نتيجة لذلك، يعانى الشخص المصاب بمرض باركنسون من تقلصات عضلية لا إرادية.
تتخذ هذه التقلصات أشكالًا مثل اهتزاز اليدين)الرعشة(وحركات "تدحرج الحبوب
" القهرية للإبهام والأصابع. بالإضافة إلى ذلك،


)أ(


)ب(


)ح(

الشكل 12.34 مرض باركنسون)PD(.
)أ(مقطع عرضى للدماغ المتوسط لشخص
سليم يظهر شريطًا داكنًا طبيعيًا من المادة السوداء ع
ند السهم.)ب(مقطع دماغ متوسط لمريض
باركنسون يظهر غياب المادة السوداء.
)ح(خلل الحركة، وهو صعوبة فى المشى ووضعية انحناء ل
لأمام مميزة للأشخاص المصابين بمرض باركنسون.

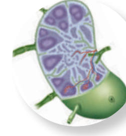
a–b : ISM/Pr J.J. Hauw/Medical Images

[33]جيمس باركنسون)1755–1824(، طبيب بريطانى

اتصالات النظام



تأثيرات الجهاز العصبى
على أجهزة الجسم الأخرى



الجهاز اللمفاوى والمناعى
تؤثر الأعصاب المتجهة إلى الأعضاء اللمفاو
ية على تطور ونشاط الخلايا المناعية؛ تؤثر الحا
لات العاطفية على القابلية للإصابة
بالعدوى وغيرها من فشل المناعة.



الجهاز الجلدى
تنظم الأعصاب الجلدية انتصا
ب الشعر، والتعرق، وتض
يق الأوعية الدموية الجلدية وتو
سعها، وفقدان الحرارة عبر س
طح الجسم، وتوفر الإحساسات الج
لدية مثل اللمس، والحكة، وال
دغدغة، والضغط، والحرارة، والبرود
ة.



الجهاز التنفسى
ينظم جذع الدماغ
إيقاع التنفس، ويراقب
درجة حموضة الدم وغازات الدم،
ويضبط معدل التنفس و
عمقه للتحكم بها ضمن
النطاقات الطبيعية.



الجهاز الهيكلى
التحفيز العصبى يحافظ على توتر ا
لعضلات الذى يحفز نمو ال
عظام وإعادة تشكيلها؛ الأعصاب
فى العظام تستجيب للإجهادات وال
كسور.



الجهاز البولى
تُعدّل الأعصاب الودية معدل إ
نتاج البول من قِبَل الكليتين؛ ا
لتحفيز العصبى لصمامات
البول يساعد فى احتبا
س البول فى المثانة، والا
نعكاسات العصبية تتحكم
فى تفريغها.



الجهاز العضلى
لا يمكن للعضلات الهيكلية
الانقباض بدون تحفيز عص
بى؛ يتحكم الجهاز العصبى
فى جميع حركات الجسم و
نغمة العضلات.



الجهاز الصماء
يسيطر الوطاء على الغدة النخام
ية؛ يتحكم الجهاز العصبى
الودى فى لب الغدة الكظرية؛ ال
خلايا العصبية الصماء هى خلايا ع
صبية تفرز هرمونات مثل الأ
وكسيتوسين؛ تؤثر المدخلات الحس
ية والعصبية الأخرى على إفراز العد
يد من الهرمونات الأخرى.



الجهاز الهضمى
ينظّم الجهاز العصبى
الشهية، سلوك التغذية،
إفرازات الجهاز الهضمى
وحركته، وعملية الإخراج.



الجهاز التناسلى
ينظّم الجهاز العصبى الرغبة الجنسية،
والاستثارة، والنشوة الجنسية؛ ينظّم الدماغ
إفراز هرمونات الغدة النخامية
التى تتحكم فى تكوين الحيوانات المنوية لدى الذكور
ودورة المبيض لدى الإناث؛
يتحكم الجهاز العصبى فى جوانب مختلفة
من الحمل والولادة؛ ينتج الدماغ
الأوكسيتوسين، الذى يشارك فى
انقباضات المخاض والرضاعة.



الجهاز الدورى
ينظم الجهاز العصبى م
عدل وقوة نبضات القلب، وينظ
م أقطار الأوعية الدموية، يراق
ب ويتحكم فى ضغط الدم
وتركيزات غازات الدم، ويوجه الد
م إلى الأعضاء التى تحتاجه،
ويؤثر على تجلط الدم.

دليل الدراسة

قيّم نتائج تعلمك

لاختبار معرفتك، ناقش المواضيع التالية مع شريك دراسي أو كتابة، ويفضل من الذاكرة.

12.1 نظرة عامة على الجهاز العصبي

1. ما يشترك فيه الجهازان العصبي والغدد الصماء
2. ثلاث وظائف أساسية للجهاز العصبي؛ أدوار المستقبلات والمنفذات في تنفيذ هذه الوظائف
3. الاختلافات بين الجهاز العصبي المركزي (CNS) والجهاز العصبي المحيطي (PNS)؛ وبين الأقسام الحسية والحركية للجهاز العصبي المحيطي؛ وبين الأقسام الجسدية والحشوية لكل من الأقسام الحسية والحركية
4. الجهاز العصبي الذاتي وقسمه الفرعيان

12.2 الهيكل والوظيفة للخلايا العصبية

1. ثلاث خصائص فسيولوجية أساسية للخلايا العصبية
2. الاختلافات بين الخلايا العصبية الحسية (الواردة)، والخلايا العصبية البينية (خلايا الربط)، والخلايا العصبية الحركية (الصادرة)
3. أجزاء الخلية العصبية متعددة الأقطاب العامة ووظائفها
4. الاختلافات بين الخلايا العصبية متعددة الأقطاب، ثنائية القطب، أحادية القطب، وعديمة المحور؛ مع مثال لكل منها
5. الطرق التي تنقل بها الخلايا العصبية المواد بين جسم الخلية والنهايات البعيدة للمحور العصبي

12.3 الخلايا الداعمة

1. ستة أنواع من الخلايا العصبية الدبقية؛ تركيب ووظائف كل منها؛ وأنواعها الموجودة في الجهاز العصبي المركزي (CNS) وأيها في الجهاز العصبي المحيطي (PNS)
2. تركيب غمد المايلين، وكيفية إنتاج خلايا الدبقية في الجهاز العصبي المركزي والمحيطي له
3. كيف يؤثر قطر المحور العصبي ووجود أو غياب المايلين على سرعة توصيل الإشارة في المحور العصبي
4. تجدد العصب التالف؛ أدوار خلايا شوان، الغشاء القاعدي، والغشاء العصبي في التجدد؛ ولماذا لا تستطيع خلايا الجهاز العصبي المركزي التجدد

12.4 الفيزيولوجيا الكهربائية للخلايا العصبية

1. معاني الجهد الكهربائي وجهد غشاء الراحة (RMP)؛ الجهد النموذجي لجهد غشاء الراحة
2. ما هو التيار الكهربائي، وكيف تولد أيونات الصوديوم وقنوات الغشاء ذات البوابات تيارًا كهربائيًا
3. كيف يؤدي تحفيز الخلية العصبية إلى تولد جهد محلي؛ الخصائص الفسيولوجية للجهد المحلي
4. الخصائص الخاصة لمنطقة الزناد والمناطق غير المغلفة بالمايلين في المحور العصبي التي تمكن هذه المناطق من توليد جهود الفعل
5. آلية جهد الفعل؛ كيف يرتبط بتدفق الأيونات وعمل قنوات الغشاء؛ وما المقصود *بإزالة الاستقطاب وإعادة الاستقطاب* لغشاء البلازما أثناء الجهود المحلية وجهود الفعل
6. قانون الكل أو لا شيء وكيفية تطبيقه على جهد الفعل؛ الخصائص الأخرى لجهود الفعل بالمقارنة مع الجهود المحلية
7. الأساس والأهمية لفترة الامتناع التي تلي جهد الفعل
8. كيف يحفز جهد فعل واحد جهد فعل آخر؛ كيف يؤدي التوصيل المستمر في المحاور غير المغلفة إلى تفاعل سلسلة من جهود الفعل؛ وما الذي يمنع عادةً الإشارة من الانتقال إلى الوراء نحو جسم الخلية
9. التوصيل القفزي في محور مغلف بالميلين؛ الفروق في آليات التوصيل بين فجوات غمد الماليين والمقاطع بين العقد؛ ولماذا تنتقل الإشارات بسرعة أكبر في المحاور المغلفة بالميلين مقارنة بالمحاور غير المغلفة ذات الحجم المماثل

12.5 المشابك

1. هيكل ومواقع المشابك
2. دور الناقلات العصبية في النقل المشبكي
3. فئات الناقلات العصبية وأمثلة شائعة لكل منها
4. لماذا يمكن أن يكون للناقل العصبي نفسه تأثيرات مختلفة على خلايا مختلفة
5. المشابك المثيرة؛ كيف يثير الأسيتيل كولين والنورإيبنفرين العصبون التالي للمشبك
6. المشابك المثبطة؛ كيف يثبط حمض γ-أمينوبيوتيريك (GABA) العصبون التالي للمشبك
7. كيف تعمل أنظمة الرسول الثاني في المشابك
8. ثلاث طرق يتم بها إنهاء النقل المشبكي
9. المنظمات العصبية، طبيعتها الكيميائية، وكيف تؤثر على النقل المشبكي

12.6 التكامل العصبي

1. لماذا تبطئ المشابك الاتصال العصبي؛ الفائدة الكبرى للمشابك
2. معنى الإمكانات ما بعد المشبكية التنبيهية والتثبيطية *(EPSPs و IPSPs)*
3. لماذا قد يعتمد إنتاج EPSP أو IPSP على كل من الناقل العصبي المُفرَز من العصبون قبل المشبكي ونوع المستقبل على العصبون بعد المشبكي
4. كيف يعتمد قرار العصبون بعد المشبكي في الإطلاق على نسبة EPSPs إلى IPSPs
5. التجميع الزمني والمكاني، أين يحدثان، وكيف يحددان ما إذا كان العصبون سيطلق
6. آليات التسهيل والتثبيط قبل المشبكي، وكيف يمكن لتواصل بين عصبونين أن يُقوى أو يُضعف بواسطة عصبون ثالث يستخدم إحدى هذه الآليات
7. آليات الترميز العصبي؛ كيف ينقل العصبون المعلومات النوعية والكمية
8. لماذا يحدد فترة الامتناع حدًا لمدى تكرار إطلاق العصبون
9. معاني *تجمع عصبي* و *دائرة عصبية*
10. الفرق بين منطقة تفريغ العصبون والمنطقة المسهلة، وكيف يرتبط ذلك بعمل العصبونات في مجموعات
11. دوائر العصبونات المتفرعة، المتقاربة، المترددة، والمتوازية بعد التفريغ؛ أمثلة على صلتها بوظائف الجسم المألوفة
12. الفرق بين المعالجة التسلسلية والمتوازية للمعلومات وكيف تؤثر على وظائف الجسم اليومية
13. الأساس الخلوي للذاكرة؛ مما تتكون الذاكرة من حيث المسارات العصبية، وكيف ترتبط باللدونة المشبكية والتقوية
14. أنواع الأشياء التي يتم تذكرها في الذاكرة الفورية، والذاكرة قصيرة الأمد (STM)، والذاكرة طويلة الأمد (LTM)، وفي الأشكال الصريحة والضمنية للذاكرة طويلة الأمد
15. الآليات العصبية التي يُعتقد أنها تشارك في هذه الأشكال المختلفة من الذاكرة وفي النسيان

دراسة دليل

اختبار استدعائك

الإجابات في الملحق أ

1. تؤدي الوظائف التكاملية للجهاز العصبي بشكل رئيسي بواسطة
أ. العصبونات الواردة.
ب. العصبونات الصادرة.
ج. الخلايا العصبية الدبقية(نيوروجليا).
د. العصبونات الحسية.
هـ. العصبونات البينية.

2. أعلى كثافة لقنوات الأيونات التي تُفتح بالج جزء من العصبون. هد توجد في ______
أ. التغصنات.
ب. جسم الخلية
ج. فجوات غمد المايلين
د. القطاعات بين العقدية
هـ. نهايات المحور العصبي

3. جسم الخلية للعصبون الناضج يفتقر إلى
أ. نواة.
ب. الشبكة الإندوبلازمية.
ج. ليبوفوسين.
د. المريكزات.
هـ. الريبوسومات.

4. الخلايا الدبقية التي تحارب العدوى في الجهاز العصبي الم ركزي هي
أ. الميكروغليا.
ب. الخلايا القمرية.
ج. الخلايا البطانية(الإيبيندمية(.
د. الخلايا قليلة التغصن.
هـ. الخلايا النجمية.

5. التعزيز بعد التشنج لمشبك عصبي في المحور العصبي ______ يزيد من كمية النهاية.
أ. الناقل العصبي
ب. مستقبلات الناقل العصبي
ج. الكالسيوم
د. الصوديوم
هـ. NMDA

6. IPSP هو ______ لـ الخلية العصبية بعد المشبكية العصبون.
أ. فترةrefractory
ب. جهد الفعل
ج. إزالة الاستقطاب
د. إعادة الاستقطاب
هـ. فرط الاستقطاب

7. يحدث التوصيل القفزي فقط
أ. في المشابك الكيميائية.
ب. في الجزء الابتدائي من المحور العصبي.
ج. في كل من الجزء الابتدائي وتل المحور ا لعصبي.
د. في المحاور العصبية المغلفة بالميلين.
هـ. في المحاور العصبية غير المغلفة بالميلين.

8. بعض الناقلات العصبية يمكن أن يكون لها تأثيرات منشطة أو مثبطة اعتمادًا على نوع
أ. المستقبلات على الخلية بعد المشبكية.
ب. الحويصلات المشبكية في المحور العصبي.
ج. التقوية المشبكية التي تحدث.
د. جهود ما بعد المشبك على نهاية المحور العصبي .
هـ. المُعدّل العصبي المعني.

9. من المحتمل أن يتم ترميز الاختلافات في حجم الصوت عن طريق الاختلافات في في المحاور العصبية القادمة من الأذن الداخلية. ______
أ. الناقلات العصبية
ب. سرعة توصيل الإشارة
ج. أنواع جهود ما بعد المشبك
د. تردد الإطلاق
هـ. جهد إمكانات الفعل

10. التأثيرات الحركية التي تعتمد على الإخراج الم تكرر من تجمع عصبي من المرجح أن تستخدم
أ. دوائر التفريغ المتوازية اللاحقة.
ب. دوائر الارتداد.
ج. الدوائر المسهلة.
د. الدوائر المتفرعة.
هـ. الدوائر المتقاربة.

11. الخلايا العصبية التي تنقل المعلومات إلى الجهاز العصبي المركزي ، خلايا عصبية. ______تُسمى حسية، أو

12. لأداء دورها، يجب أن تمتلك الخلايا العصبية خصائص الاستثارة، والإفراز، و ______.

13. هي فترة زمنية يتم فيها ______ ال الخلية العصبية تنتج جهد فعل ولا يمكنها الا ستجابة لمحفز آخر مهما كانت شدته.

14. تستقبل الخلايا العصبية الإشارات الواردة ع بر امتدادات متخصصة من الخلية تُسمى. ______

15. في الجهاز العصبي المركزي، يتم إنتاج المايلين بواسطة خلايا ا لدبق المسماة______.

16. يمكن للمحور العصبي المغلف بالميلين أن ين تج إمكانات الفعل فقط في مناطق متخصصة تُسمى . ______

17. تتكون منطقة الزناد في العصبون من ______ و ______.

18. الناقل العصبي الذي يُفرز في المشبك الأدرينا لي هو______.

19. العصبون قبل المشبكي لا يمكنه أن يسبب إطلاق النار في عصبونات أخرى في______ لكنه يمكن أن يجعل أكثر حساسية للتحفيز من عصبونات قبل مشبكية أخرى.

20. ______ هي مواد تُفرز مع الناقل العصبي وتُعدّ ل تأثير الناقل العصبي.

بناء مفرداتك الطبية

الإجابات في الملحق أ

اذكر معنى كل عنصر من عناصر الكلمة، وقدم مصطلحًا طبيًا من هذا الفصل يستخدم أو تعديلًا طفيفًا عليه.

1. أمامي-
2. -aps
3. نجم-
4. شجيري-
5. حامل-
6. عقدي-
7. تدرج-
8. عصب-
9. تصلب-
10. جسمي-

دليل الدراسة

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

الإجابات فى الملحق أ

اشرح بإيجاز لماذا كل من العبارات التالية خاطئة، أ و أعد صياغتها لتصبح صحيحة.

1. قد يحتوى العصبون على محور عصبى واحد أو عد ة محاور عصبية.
2. تؤدى الخلايا النجمية نفس وظيفة خلايا شوان فى الدماغ كما فى الأعصاب الطرفية.
3. العصبون فى حالة الراحة يحتوى على تركيز أع لى من Na^+ فى سائله الخلوى مقارنة بالسائل خارج الخلوى المحيط به.
4. خلال جهد الفعل، يتبادل معظم Na^+ و K^+ أم اكنهما عبر غشاء البلازما.
5. تخفض الإمكانات المشبكية المثيرة عتبة ا لعصبون وبالتالى تجعل تحفيزه أسهل.
6. نظريًا، لا يوجد حد أعلى لعدد المرات التى يمكن فيها لخلية عصبية أن تطلق إشارة إذا تم تحفيز ها بقوة كافية.
7. لناقل عصبى معين نفس التأثير بغض النظر ع ن مكان إفرازه فى الجسم.
8. تقوم المحاور المغلفة بالميلين بنقل الإشارات بسرعة أكبر من المحاور غير المغلفة لأن لد يها فجوات فى غمد الميالين.
9. يحدث التعلم بزيادة عدد الخلايا العصبية فى نسيج الدماغ.
10. تُستبدل الخلايا العصبية الميتة فى الدماغ بسر عة بانقسام الخلايا العصبية الباقية على قيد الحياة.

اختبار فهمك

1. يُعالج أحيانًا الفصام بأدوية مثل الكلوربروما زين التى تثبط مستقبلات الدوبامين. أحد ا لآثار الجانبية هو أن المرضى يبدأون فى تط وير رعشات عضلية، واضطرابات فى الكلام، واضطرابات أخرى مشابهة لمرض باركن سون. فسّر ذلك.
2. فرط بوتاسيوم الدم هو زيادة فى البوتاسيوم فى السائل خارج الخلايا. ما التأثير الذى سيكو ن لهذا على جهد الراحة لغشاء الخلايا العصبية وعلى إثارة الأعصاب؟
3. افترض أن سمًا ما يبطئ مضخات Na^+–K^+ فى خلايا الأعصاب. كيف سيؤثر هذا على ح هد الراحة لغشاء الخلايا العصبية؟ هل سيجع ل الخلايا العصبية أكثر إثارة من الطبيعى، أم سيجعل من الصعب تحفيزها؟ فسّر ذلك.
4. وحدة الشكل والوظيفة هى مفهوم مهم فى فهم المشابك العصبية. اذكر سببين هى كليين لعدم قدرة الإشارات العصبية على ا لانتقال إلى الوراء عبر

مشبك كيميائى. ما هى العواقب المحتمل ة إذا انتشرت الإشارات بحرية فى كلا الاتجاهي ن؟

5. عادةً ما يكون التغذية الراجعة الإيجابية ضارًا ل لجسم، أو حتى مهددًا للحياة، ولكن هناك بعض الحالات التى تكون فيها مفيدة وضرور ية. حدد مثل هذه الحالة فى الفيزيولوجيا ال كهربائية للعصبون. إذا لزم الأمر، راجع الخصائ ص المحددة للتغذية الراجعة الإيجابية فى ا لقسم 1.6d.

CHAPTER 13

THE SPINAL
الحبل الشوكي، الأ عصاب الشوكية، والانعكاسا ت الجسدية

مقطع عرضي للعصب الوركي، يُظهر المحاور العصبية المغلفة بالميلين)دوائر ك
بيرة فاتحة(والمحاور العصبية الصغيرة غير المغلفة المنتشرة بينها
مكتبة صور العلوم / صورة مخزون ألامي

مخطط الفصل

رؤى أعمق

Anatomy & Physiology Revealed 4.0
Module 7: Nervous System

مراجعة

- تفترض هذه الفصل أن لديك معرفة أساسية بهيكل العصبون)انظر القسم 12.2c(.
- يتم وصف تشريح الحبل الشوكى هنا بمصطلحات تفترض أنك على دراية بتشريح العمود الفقرى)الفقرات(فى القسم 8.3.
- لفهم ردود الفعل الشوكية، يجب أن تكون على دراية بكيفية عمل العضلات معًا عند المفصل، وخاصة العضلات المتضادة)انظر الشكل 10.4 والنقاش المرتبط به(.
- يتطلب فهم المنعكسات الشوكية أيضًا معرفة بالجهود المشبكية بعد التشابك التنبيهية والتثبيطية)EPSPs و IPSPs(ونوع الدائرة العصبية ذات التفريغ اللاحق المتوازى)انظر الأقسام 12.6a، 12.6d(.

كل عام فى الولايات المتحدة، يعانى آلاف الأشخاص من إصابات شلل فى الحبل الشوكى، غالبًا ما تكون لها آثار مدمرة على جودة حياتهم. يُعد علاج مثل هذه الإصابات من أكثر مجالات البحث الطبى نشاطًا فى الوقت الحاضر. يجب على المعالجين فى هذا التخصص معرفة تشريح ووظيفة الحبل الشوكى لفهم العجز الوظيفى لدى مرضاهم وآفاق التحسن لديهم، ولتخطيط نظام علاجى مناسب. كما أن هذه المعرفة ضرورية أيضًا لفهم الشلل الناتج عن السكتات الدماغية وإصابات الدماغ الأخرى. الحبل الشوكى هو "طريق المعلومات" الذى يربط الدماغ بالجسم السفلى؛ فهو يحتوى على المسارات العصبية التى تفسر سبب أن الإصابة فى جزء معين من الدماغ تؤدى إلى فقدان وظيفى فى منطقة محددة من الجسم السفلى.

فى هذا الفصل، سندرس ليس فقط الحبل الشوكى ولكن أيضًا الأعصاب الشوكية التى تنشأ منه بانتظام على شكل سلم على فترات على طوله. وبالتالى، سنفحص مكونات كل من الجهاز العصبى المركزى والطرفى، لكنهما مرتبطان ارتباطًا وثيقًا من الناحيتين الهيكلية والوظيفية. لذا من المناسب النظر إليهما معًا. وبالمثل، سيتم النظر فى الدماغ والأعصاب القحفية معًا فى الفصل التالى. لذلك، ترفع الفصول 13 و14 دراستنا للجهاز العصبى من المستوى الخلوى)الفصل 12(إلى مستويات العضو والجهاز.

13.1 الحبل الشوكى

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. ذكر الوظائف الرئيسية الثلاثة للحبل الشوكى؛

ب. وصف هيكله العام والميكروسكوبى؛ و

ج. تتبع المسارات التى تسلكها الإشارات العصبية صاعدة وهابطة فى الحبل الشوكى.

13.1أ الوظائف

يؤدى الحبل الشوكى أربع وظائف رئيسية:

1. التوصيل. يحتوى على حزم من الألياف العصبية التى تنقل المعلومات صعودًا وهبوطًا فى الحبل الشوكى، موصلة بين مستويات مختلفة من الجذع مع بعضها البعض ومع الدماغ. هذا يمكّن المعلومات الحسية من الوصول إلى الدماغ، والأوامر الحركية من الوصول إلى المؤثرات، والمدخلات المستلمة فى مستوى واحد من الحبل من التأثير على المخرجات من مستوى آخر.
2. التكامل العصبى. تجمع مجموعات من الخلايا العصبية الشوكية المدخلات من مصادر متعددة، وتدمج المعلومات، وتنفذ المخرجات المناسبة. على سبيل المثال، يمكن للحبل الشوكى دمج إحساس التمدد من المثانة الممتلئة مع المدخلات الدماغية المتعلقة بالوقت والمكان المناسبين للتبول وتنفيذ التحكم فى المثانة وفقًا لذلك.
3. الحركة. المشى يتضمن انقباضات متكررة ومنسقة لعدة مجموعات عضلية فى الأطراف. تبدأ الخلايا العصبية الحركية فى الدماغ المشى وتحدد سرعته ومسافته واتجاهه، لكن الانقباضات العضلية البسيطة والمتكررة التى تضع قدمًا أمام الأخرى، مرارًا وتكرارًا، يتم تنسيقها بواسطة مجموعات من الخلايا العصبية تسمى مولدات النمط المركزى فى الحبل الشوكى. تنتج هذه الدوائر العصبية تسلسل المخرجات إلى عضلات الباسطة والثنية التى تسبب حركات متبادلة للأطراف السفلية.
4. الانعكاسات. تلعب الانعكاسات الشوكية أدوارًا حيوية فى الوضعية، والتنسيق الحركى، والاستجابات الوقائية للألم أو الإصابة.

13.1ب التشريح السطحى

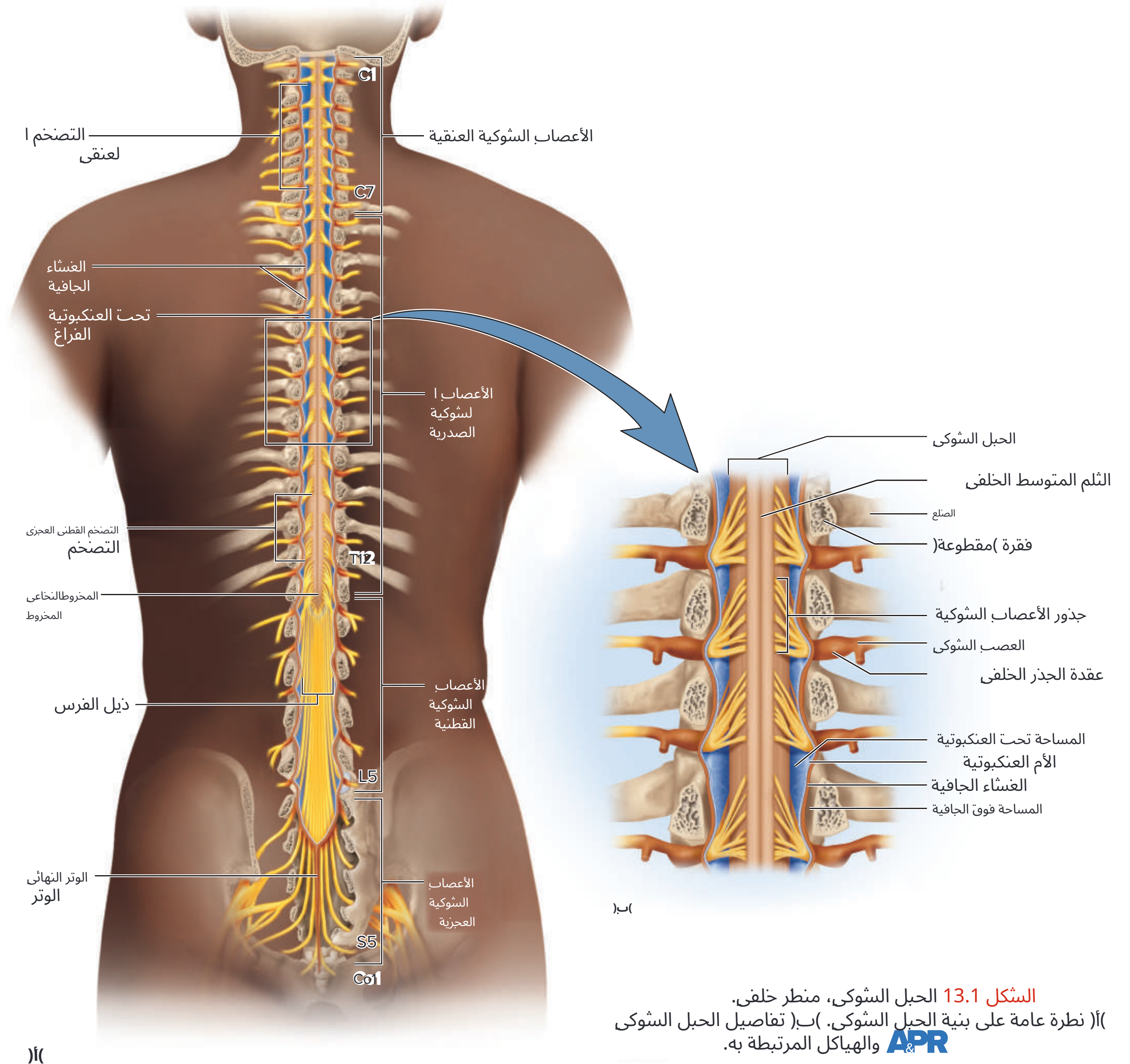
الحبل الشوكى)الشكل 13.1(ينشأ من جذع الدماغ عند الثقب الكبير فى الجمجمة. يمر عبر القناة الفقرية حتى الحافة السفلية للفقرات القطنية الأولى)L1(أو قليلاً بعدها. فى البالغين، يبلغ طوله حوالى 45 سم وسمكه 1.8 سم)بحجم إصبع الخنصر تقريبًا(.

فى مراحل مبكرة من تطور الجنين، يمتد الحبل على طول العمود الفقرى بالكامل. ومع ذلك، ينمو العمود الفقرى أسرع من الحبل الشوكى، لذا يمتد الحبل فقط حتى الفقرة L3 عند الولادة وحتى L1 فى البالغين. وبالتالى، يشغل فقط الثلثين العلويين من القناة الفقرية؛ أما الثلث السفلى فسيتم وصفه لاحقًا.

ينشأ من الحبل 31 زوجًا من الأعصاب الشوكية. على الرغم من أن الحبل الشوكى ليس مقسمًا بشكل مرئى، فإن الجزء الذى تزوده كل زوج من الأعصاب يسمى قطعة. يظهر الحبل أخاديد طولية على جانبيه الأمامى والخلفى — الشق الأوسط الأمامى و الأخدود الأوسط الخلفى على التوالى)الشكل 13.2(.

ينقسم الحبل الشوكى إلى مناطق عنقية، صدرية، قطنية، و عجزية. قد يبدو غريبًا وجود منطقة عجزية بينما ينتهى الحبل نفسه فوق العجز بكثير. ومع ذلك، تُسمى هذه المناطق حسب مستوى العمود الفقرى الذى تخرج منه الأعصاب الشوكية، وليس حسب الفقرات التى يحتوى عليها الحبل نفسه.

فى منطقتين، يكون الحبل أكثر سمكًا قليلاً من غيرها. فى المنطقة العنقية السفلية، يعطى التوسع العنقى أعصاب الأطراف العلوية. فى المنطقة القطنية العجزية، يوجد التوسع القطنى العجزى المماثل الذى يصدر أعصابًا إلى الحوض.



الشكل 13.1 الحبل الشوكى، منظر خلفى.
)أ(نظرة عامة على بنية الحبل الشوكى.)ب(تفاصيل الحبل الشوكى والهياكل المرتبطة به. APR

13.1ح أغشية الحبل الشوكى

يحيط بالحبل الشوكى والدماغ ثلاث أغشية ليفية تسمى السحايا[2])meh-NIN-jeez—المفرد، *السحايا*)MEN-inks( )الشكل 13.2(. تفصل هذه الأغشية نسيج الجهاز العصبى المركزى الطرى عن عظام الفقرات والجمجمة. من السطح إلى العمق، هى الأم الجافية، الأم العنكبوتية، والأم الحنون.

تشكل الأم الجافية[3])DOO-ruh MAH-tur(غلافًا فضفاضًا يسمى غمد الجافية حول الحبل الشوكى. إنها غشاء قوى بسماكة قفاز مطبخ مطاطى، تتكون من طبقات متعددة من النسيج الضام غير المنتظم الكثيف. المساحة بين الغمد وعظام الفقرات، المسماة الفراغ فوق الجافية، تشغلها

المنطقة والأطراف السفلية. أسفل التوسع القطنى العجزى، ينخفض الحبل الشوكى إلى نقطة تسمى المخروط النخاعى. تنشأ من التوسع القطنى العجزى والمخروط النخاعى حزمة من جذور الأعصاب التى تشغل القناة الفقرية من الفقرة L2 إلى S5. هذه الحزمة، المسماة ذيل الفرس[1])CAW-duh ee-KWY-nah(لتشابهها مع ذيل الحصان، تعصب الأعضاء الحوضية والأطراف السفلية.

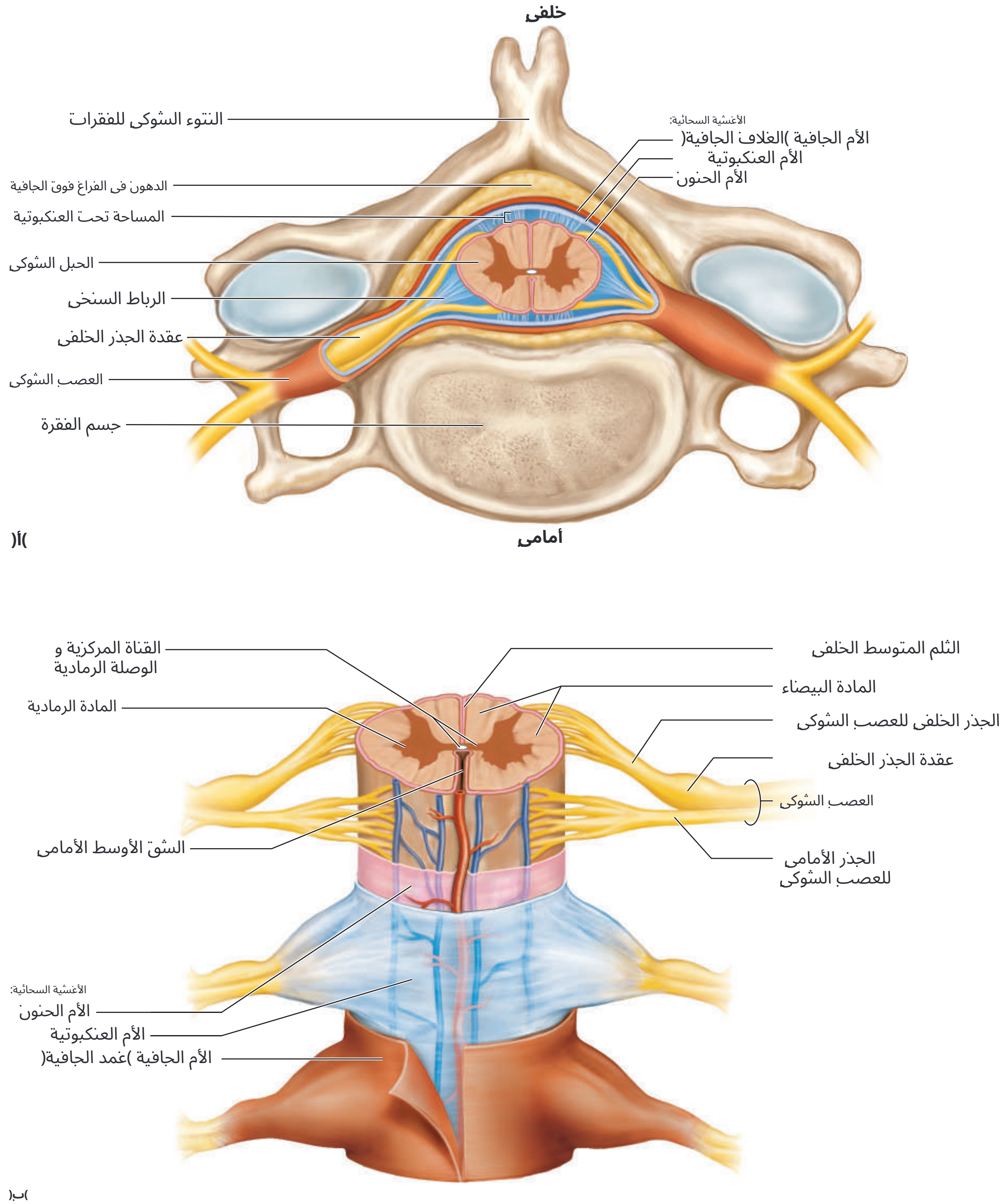
طبق ما تعرفه

تنتج إصابات الحبل الشوكى عادةً عن كسور فى الفقرات C5 إلى C6، ولكنها لا تحدث أبدًا بسبب كسور فى الفقرات L3 إلى L5. اشرح كلا الملاحظتين.

[1]ذيل = tail; حصان = horse

[2]غشاء = membrane

[3]صلب = tough; أم = mother, womb



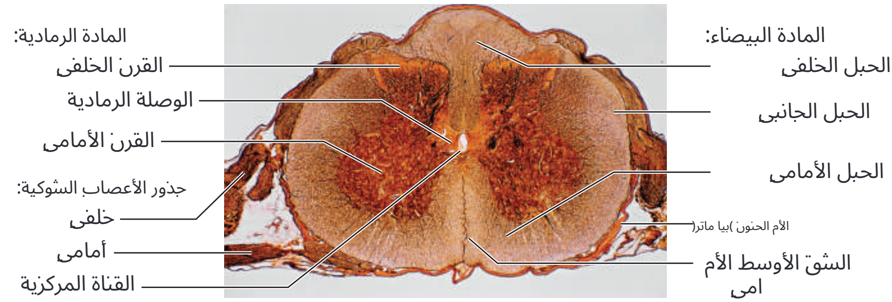
الشكل 13.2 التشريح العرضى للحبل الشوكى العنقى.)أ(منظر علوى يوضح علاقات الفقرة C5 مع الحبل الشوكى، الأعصاب الشوكية، والسحايا.)ب(منظر أمامى لثلاثة مقاطع من الحبل الشوكى، السحايا، والأعصاب الشوكية. انظر الشكل 13.3 لتفاصيل المادة الرمادية والبيضاء.

التى تلتصق بالداخل من الأم الجافية—ومجموعة أكثر رخاوة من الخلايا وألياف كولاجينية ومرنة تمتد عبر الفجوة بين غشاء العنكبوتية والأم الحنون. هذه الفجوة، الفراغ تحت العنكبوتى، مملوءة بالسائل الدماغى الشوكى)CSF( )الموضح فى الفصل 14(. أ سفل المخروط النخاعى، يُسمى الفراغ تحت العنكبوتى الحوص القط نى ويشغله ذيل الفرس والسائل الدماغى الشوكى. عندما يُحتاج إلى ع ينة من السائل الدماغى الشوكى لأغراض طبية،

الأوعية الدموية، النسيج الدهنى، والنسيج الضام الرخو. يمكن إدخال المخدرات إلى هذه المساحة لحجب إشارات الألم أثناء الولادة أو الجراحة؛ تُسمى هذه العملية *التخدير فوق الجافية*.

الأم العنكبوتية4)ah-RACK-noyd(تتكون من *غشاء العنكبوتية*—خمس أو ست طبقات من الخلايا المسطحة إلى المكعبة

4 arachn = عنكبوت، شبكة عنكبوت؛ oid = يشبه



الشكل 13.3 المقطع العرضى للحبل الشوكى)المنطقة القطنية(. غالبًا ما يتم صبغ النسيج العصبى نسيجيًا بمركبات الفضة، التى تعطى المادة الرمادية لونًا بنيًا أو ذهبيًا وتعطى المادة البيضاء لونًا أفتح يتراوح بين البنى الفاتح إلى الكهرمانى، كما هو موضح هنا وعلى العديد من الشرائح التى قد يراها الطالب.

إد ريشكى/ستون/غيتى إيماجز

قرنين خلفيين)ظهريين(، يمتدان نحو السطوح الخلفية الجانبية للحبل ، وقرنين أماميين)بطنيين(أكثر سمكًا، يمتدان نحو السطوح الأمامية الجانبية. الجانبان الأيمن والأيسر من المادة الرمادية متصلان بجسر وسطى يسمى الصماخ الرمادى. فى وسط الصماخ يوجد القناة المركزية، التى تكون منهارة فى معظم مناطق الحبل الشوكى البالغ، لكنها تبقى مفتوحة فى بعض الأماكن)وفى الأطفال الصغار(، مبطنة بخلايا بطانية مهدبة ومملوءة بالسائل الدماغى الشوكى.

يستقبل القرن الخلفى ألياف الأعصاب الحسية من الأعصاب الشوكية، التى عادة ما تشكل نقاط تشابك مع شبكات من الخلايا العصبية البينية فى القرن. يحتوى القرن الأمامى على أجسام خلايا كبيرة للخلايا العصبية الحركية التى تخرج محاورها إلى العضلات الهيكلية. الخلايا العصبية البينية والحركية وفيرة بشكل خاص فى التوسعات العنقية والعجزية القطنية، وتكون واضحة جدًا فى المقاطع النسيجية من هذه المستويات. يرتبط الكثافة العالية للخلايا العصبية فى هذه المناطق بالتحكم الحركى والإحساس فى الأطراف العلوية والسفلية.

يوجد قرن جانبى إضافى على كل جانب من المادة الرمادية من القطاعات T2 حتى L1 من الحبل. يحتوى على خلايا عصبية للجهاز العصبى الودى، التى ترسل محاورها خارج الحبل عبر الجذر الأمامى مع الألياف الصادرة الجسدية.

المادة البيضاء

المادة البيضاء للحبل الشوكى تحيط بالمادة الرمادية. أليافها العصبية)المحاور العصبية(تسير فى ثلاث حزم كبيرة تسمى الحبل الخلفى، الحبل الجانبى، والحبل الأمامى على كل جانب من الحبل الشوكى. كل حبل مقسم إلى أقسام أصغر من الألياف تسمى المسارات الشوكية، أو الحزم العصبية، والتى سيتم مناقشتها لاحقًا.

13.1هـ المسارات الشوكية

معرفة مواقع ووظائف المسارات الشوكية ضرورية فى تشخيص وإدارة إصابات الحبل الشوكى. المسارات الصاعدة تحمل المعلومات الحسية إلى الأعلى

يُؤخذ من الخزان القطنى بواسطة إجراء يُسمى البزل الشوكى أو البزل القطنى)انظر التعمق 13.1(.

الأم الحنون[5])PEE-uh(هى غشاء رقيق وشفاف يتكون من طبقة أو طبقتين من خلايا مسطحة إلى مكعبة وألياف كولاجينية ومرنة دقيقة. تتبع بدقة محيط الحبل الشوكى. تستمر بعد المخروط النخاعى كخيط ليفى، وهو الخيط النهائى داخل الخزان القطنى.

على مستوى الفقرة الفقرية S2، يخرج من الطرف السفلى للحوض ويتحد مع الأم الجافية، ويشكل الاثنان رباط العصعص الذى يثبت الحبل الشوكى والسحايا إلى الفقرة Co1. على فترات منتظمة على طول الحبل، تمتد نتوءات من الأم الحنون تسمى الأربطة المسننة عبر الأم العنكبوتية إلى الأم الجافية، مثبتة الحبل ومحددة حركاته الجانبية.

13.1د التشريح المقطعى العرضى

تُظهر الشكل 13.2أ علاقة الحبل الشوكى بفقرة وعصب شوكى، ويُظهر الشكل 13.3 الحبل نفسه بمزيد من التفصيل. يتكون الحبل الشوكى ، مثل الدماغ، من نوعين من الأنسجة العصبية تسمى المادة الرمادية والمادة البيضاء. المادة الرمادية لها لون باهت نسبيًا لأنها تحتوى على كمية قليلة من الميالين. تحتوى على أجسام الخلايا والتغصنات والأجزاء القريبة من محاور الخلايا العصبية.
إنها موقع الاتصال التشابكى بين الخلايا العصبية، وبالتالى موقع كل التكامل العصبى فى الحبل الشوكى. بالمقابل، المادة البيضاء لها مظهر لؤلؤى أبيض لامع بسبب وفرة الميالين. تتكون من حزم المحاور العصبية التى تسير صعودًا وهبوطًا فى الحبل الشوكى، موفرة طرق اتصال بين مستويات مختلفة من الجهاز العصبى المركزى.

سيشير هذا الفصل إلى المحاور العصبية التى تسير عبر الأعصاب والمادة البيضاء للجهاز العصبى المركزى بمصطلحها المعتاد "ألياف عصبية". كن حذرًا من عدم الخلط بين هذا التعبير وبين ألياف العضلات والأنسجة الضامة التى ستُناقش لاحقًا فى هذا الفصل.

المادة الرمادية

يحتوى الحبل الشوكى على نواة مركزية من المادة الرمادية التى تبدو إلى حد ما على شكل فراشة أو حرف H فى المقاطع العرضية. تتكون النواة بشكل رئيسى من

[5] *pia* = من خلال ترجمة خاطئة، يُفسر الآن على أنه رقيق، ناعم، أو رقيق جدًا
[6] *denti* =سن؛ *cul* = صغير؛ *ate* = يشبه

[7] *funicul* = حبل صغير، حبل
[8] *fascicul* = حزمة صغيرة



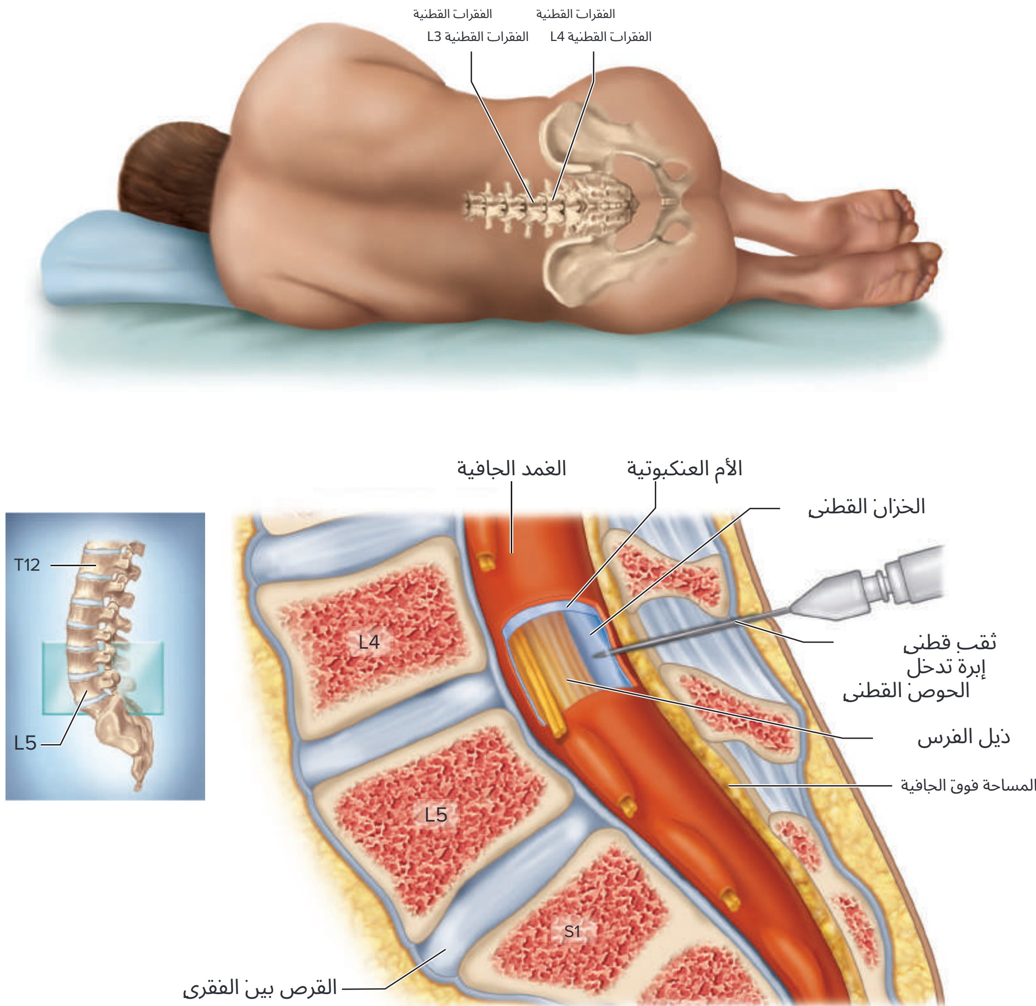
نظرة أعمق 13.1

تطبيق سريرى

ثقب العمود الفقرى

يتم تشخيص العديد من الأمراض العصبية جزئيًا من خلال فحص السائل الدماغى الشوكى)CSF(للكشف عن البكتيريا، الفطريات، الدم، خلايا الدم البيضاء، أو الشذوذات فى التركيب الكيميائى. يتم الحصول على السائل الدماغى الشوكى بواسطة إجراء يسمى ثقب العمود الفقرى أو البزل القطنى. يميل المريض إلى الأمام أو يرقد على أحد الجانبين مع انثناء العمود الفقرى، مما يؤدى إلى تباعد الصفائح الفقرية والنواتئ الشوكية)الشكل 13.4(. يتم تخدير الجلد فوق الفقرات القطنية، و يتم إدخال إبرة بين النواتئ الشوكية للفقرات L3 و L4)وأحيانًا بين L4 و L5(. هذا هو المكان الأكثر أمانًا للحصول على السائل الدماغى الشوكى لأن الحبل الشوكى لا يمتد إلى هذا الحد ولا

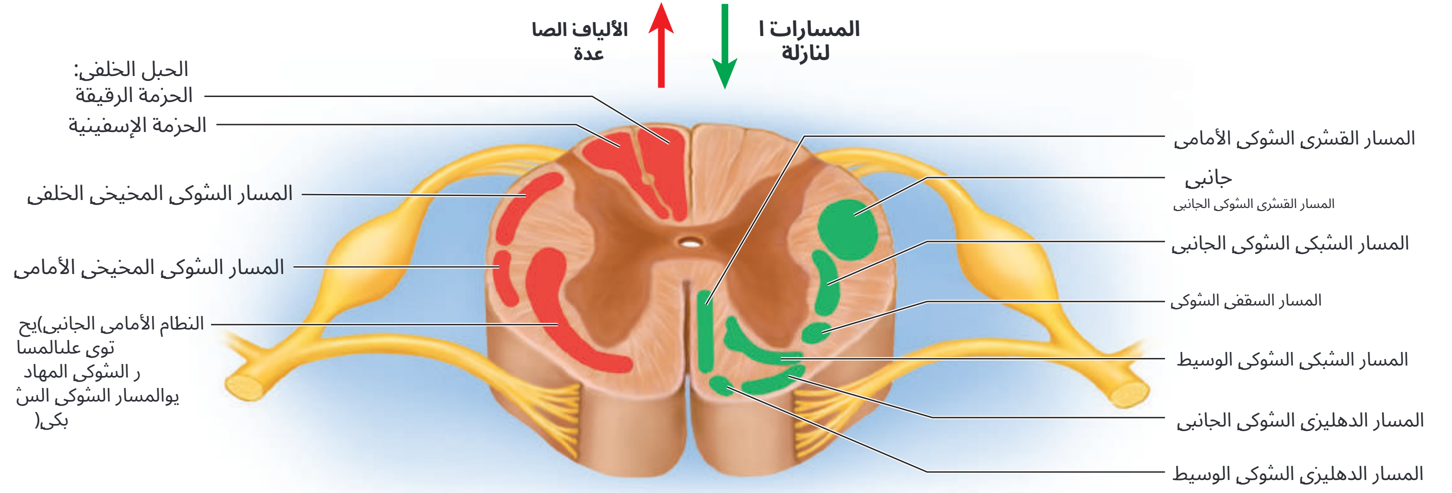
يتعرض للإصابة بواسطة الإبرة. عند عمق يتراوح بين 4 إلى 6 سم، تخترق الإبرة الأم الجافية وتدخل الحوض القطنى. عادةً ما يتسرب السائل الدماغى الشوكى بمعدل حوالى قطرة واحدة فى الثانية. لا يتم إجراء البزل القطنى إذا كان لدى المريض علامات على ارتفاع الضغط داخل الجمجمة، لأن الإفراج المفاجئ عن الضغط)مما يسبب خروج السائل الدماغى الشوكى بقوة من الثقب(يمكن أن يسبب انفتاقًا قاتلًا فى جذع الدماغ والمخيخ داخل القناة الفقرية. غالبًا ما يُستخدم أخذ عينات السائل الدماغى الشوكى فى تشخيص التهاب السحايا، نزيف الدماغ، الزهرى، التصلب المتعدد، متلازمة غيلان باريه، وأمراض أخرى معدية، التهابية، و أيضية.



الشكل 13.4 ثقب العمود الفقرى)ثقب قطنى(.

الحبل الشوكى، و المسارات النازلة تنقل الإشارات الحركية إلى الأسفل)الشكل 13.5(. جميع الألياف العصبية فى مسار معين لها أصل، وجهة، ووظيفة متشابهة. العديد من هذه الألياف لها أصل أو وجهة فى منطقة تسمى *جذع الدماغ*. موصوفة بشكل أكثر تفصيلًا فى الفصل 14، وهو ساق عمودى يدعم

المخيخ الكبير فى الجزء الخلفى من الرأس، و، حتى أكبر، نصفى الكرة المخية اللذين يهيمنان على الدماغ. فى المناقشة التالية، ستجد إشارات إلى جذع الدماغ ومناطق أخرى حيث تبدأ وتنتهى المسارات الشوكية. ستصبح تشريح الحبل الشوكى أكثر وضوحًا مع دراستك للدماغ.



الشكل 13.5 مسارات الحبل الشوكى. جميع المسارات الموضحة تحدث على جانبى الحبل، ولكن فقط مسارات الإحساس الصاعدة معروضة على اليسار)باللون الأحمر(، ومسارات الحركة النازلة فقط على اليمين)باللون الأخضر(.

إذا قيل لك أن هذا المقطع العرضى هو إما عند مستوى C5 أو T10، كيف يمكنك تحديد أيهما صحيح؟

المسارات الصاعدة الرئيسية هى كما يلى. تتكون أسماء معظمها من البادئة *سبينو*- تليها جذر يدل على وجهة أليافها فى الدماغ، على ا لرغم من أن هذا النظام الاسمى لا ينطبق على أول اثنين.

• يتكون الحبل الخلفى من الحزمة الكُنيّة[12])CUE-nee-ate والـ حزمة الرقيقة[13])GRAS-el(من مستوى T6 إلى الدماغ، ومن مستوى T7 نزولًا فقط الحزمة الرقيقة)الشكل 13.6أ(. تحمل الحزمة الرقيقة إشارات حسية من الجذع السفلى والأ طراف السفلية، وتحمل الحزمة الكُنيّة إشارات من الصدر والأ طراف العلوية. تشمل هذه الإشارات حواس الاهتزاز، والألم ا لحشوى، واللمس العميق، وخاصة الإحساس بالموضع)الإدرا ك الحسى الذاتى(من الأطراف السفلية والجذع السفلى. الإد راك الحسى الذاتى[14] هو الإحساس غير البصرى بموقع وحركات الجسم وأجزائه، ويأتى من نهايات الأعصاب الحسية فى الع ضلات والأوتار والمفاصل. يستخدم الدماغ هذه المعلومات لض بط توتر العضلات والأفعال للحفاظ على التوازن)الاتزان(، والو ضعية، والتنسيق. تنتهى ألياف الأعصاب من الدرجة الأولى لهذ ه الحزم فى النخاع المستطيل بجذع الدماغ، لكن ألياف الدرجة الثانية تتقاطع هناك إلى الجانب الآخر من الدماغ. وبالتالى، يستقبل الدماغ الأيمن إشارات من الجانب الأيسر من الجسم والعكس صحيح.

• يشكل المسار الشوكى-المهادى)SPY-no-tha-LAM-ic( )الـ شكل 13.6ب(وبعض المسارات الأصغر *النظام الأمامى الجانبى*، الذى يمر عبر الحبال الأمامية والجانبية للحبل الشوكى. ينقل المسار الشوكى-المهاد إشارات الألم، والحرارة، والضغ ط، والدغدغة، والحكة، واللمس الخفيف. اللمس الخفيف هو

تمر العديد من هذه المسارات بعملية التقاطع[9] (DEE-cuh-SAY-shun(أثناء مرورها صعودًا أو هبوطًا فى جذع الدماغ والحبل الشوكى—مما يعنى أنها تعبر من الجانب الأيسر للجسم إلى الجانب الأيمن، أو العكس. ونتيجة لذلك، يستقبل الجانب الأيسر من الدماغ معلومات حسية من الجانب الأيمن من الجسم ويرسل أوامر حركية إلى ذلك الجانب، بينما يشعر الجانب الأيمن من الدماغ ويتحكم فى الجانب الأيسر من الجسم. لذلك، يمكن أن يتسبب السكتة الدماغية التى تلحق الضرر بمراكز الحركة فى الجانب الأيمن من الدماغ فى شلل الأطراف اليسرى والعكس صحيح.

عندما يكون أصل ومسار المسار على جانبى الجسم المتقابلين، نقول إنهما متقابلان[10] مع بعضهما البعض.

عندما لا يتقاطع المسار، يكون أصله ووجهته على نفس جانب الجسم ونقول إنهما متماثلان الجانب.11

تم تلخيص المسارات الشوكية الرئيسية فى الجدول 13.1 والن ص التالى. ضع فى اعتبارك أن كل مسار مكرر على جانبى الحبل الشو كى الأيمن والأيسر.

المسارات الصاعدة

تحمل المسارات الصاعدة الإشارات الحسية صعودًا عبر الحبل الشو كى. عادةً ما تنتقل الإشارات الحسية عبر ثلاث خلايا عصبية من مصد رها فى المستقبلات إلى وجهتها فى الدماغ: الخلية العصبية من الدر جة الأولى التى تكتشف المنبه وتنقل الإشارة إلى الحبل الشوكى أو جذ ع الدماغ؛ الخلية العصبية من الدرجة الثانية *التى تستمر حتى بوابة ت سمى* المهاد فى الطرف العلوى من جذع الدماغ؛ و *الخلية العصبية م ن الدرجة الثالثة* التى تحمل الإشارة بقية الطريق إلى القشرة الدماغية. تُسمى محاور هذه الخلايا العصبية *الألياف الأعصاب من الدرجة الأولى إلى الثالثة*)الشكل 13.6(.

[12] cune = wedge
[13] رقيق = نحيف، رفيع
[14] بروبريو = خاص بالفرد؛ إدراك = إحساس

[9] decuss = يعبر، يشكل X
[10] contra = معاكس؛ later = جانب
[11] ipsi = نفس الجانب؛ later = جانب

الجدول 13.1 المسارات الرئيسية للحبل الشوكى

مسار	حبل	تقاطع	وظائف
المسارات الصاعدة)الحسية(			
الحزمة الرقيقة	خلفى	فى النخاع	إحساسات وضع وحركة الأطراف والجذع، اللم س العميق، ألم الأحشاء، والاهتزاز، أسفل الم ستوى T6
الحزمة الإسفينية	خلفى	فى النخاع	نفس الحزمة الرقيقة، من المستوى T6 فما فوق
الحزمة الشوكية المهادية	جانبية وأمامية	فى الحبل الشوكى	إحساسات اللمس الخفيف، الدغدغة، الح كة، الحرارة، الألم، والضغط
الحزمة الشوكية الشبكية	جانبية وأمامية	فى الحبل الشوكى)بعض الألياف(	إحساس بالألم من إصابة الأنسجة
الحبل الشوكى المخيخى الخلفى	جانبى	لا شىء	التغذية الراجعة من العضلات)الإحساس بالموضع(
الحبل الشوكى المخيخى الأمامى	جانبى	فى الحبل الشوكى	نفس الحبل الشوكى المخيخى الخلفى
المسارات النازلة)الحركية(			
المسار القشرى الشوكى الجانبى	جانبى	فى النخاع	التحكم الدقيق فى الأطراف
المسار القشرى الشوكى الأمامى	أمامى	فى الحبل الشوكى	التحكم الدقيق فى الأطراف
الحبل الشوكى القشرى	أمامى	فى الدماغ المتوسط	الاستدارة الانعكاسية للرأس استجابةً للمحفزات البصر ية والسمعية
الشبكى النخاعى الجانبى	جانبى	لا شىء	التوازن والوضعية؛ تنظيم الوعى بالألم
الشبكى النخاعى الوسيط	أمامى	لا شىء	نفس وظيفة الشبكى النخاعى الجانبى
الدهليزى النخاعى الجانبى	أمامى	لا شىء	التوازن والوضعية
الدهليزى النخاعى الوسيط	أمامى	فى النخاع المستطيل)بعض الألياف(	التحكم فى وضع الرأس

المسارات النازلة

تحمل المسارات النازلة الإشارات الحركية نزولاً عبر جذع الدماغ والح بل الشوكى. عادةً ما تتضمن المسارات الحركية النازلة عصبونين يُطل ق عليهما العصبون الحركى العلوى والعصبون الحركى السفلى. يبدأ ا لعصبون الحركى العلوى بجسم خلية فى القشرة الدماغية أو جذع الدما غ وله محور عصبى ينتهى على العصبون الحركى السفلى فى جذع الدم اغ أو الحبل الشوكى. ثم يقود محور العصبون الحركى السفلى بقية الط ريق إلى العضلة أو العضو المستهدف الآخر. تتكون أسماء معظم الم سارات النازلة من جذر كلمة يدل على نقطة الأصل فى الدماغ، متبوعًا باللاحقة -شوكى. المسارات النازلة الرئيسية موصوفة هنا.

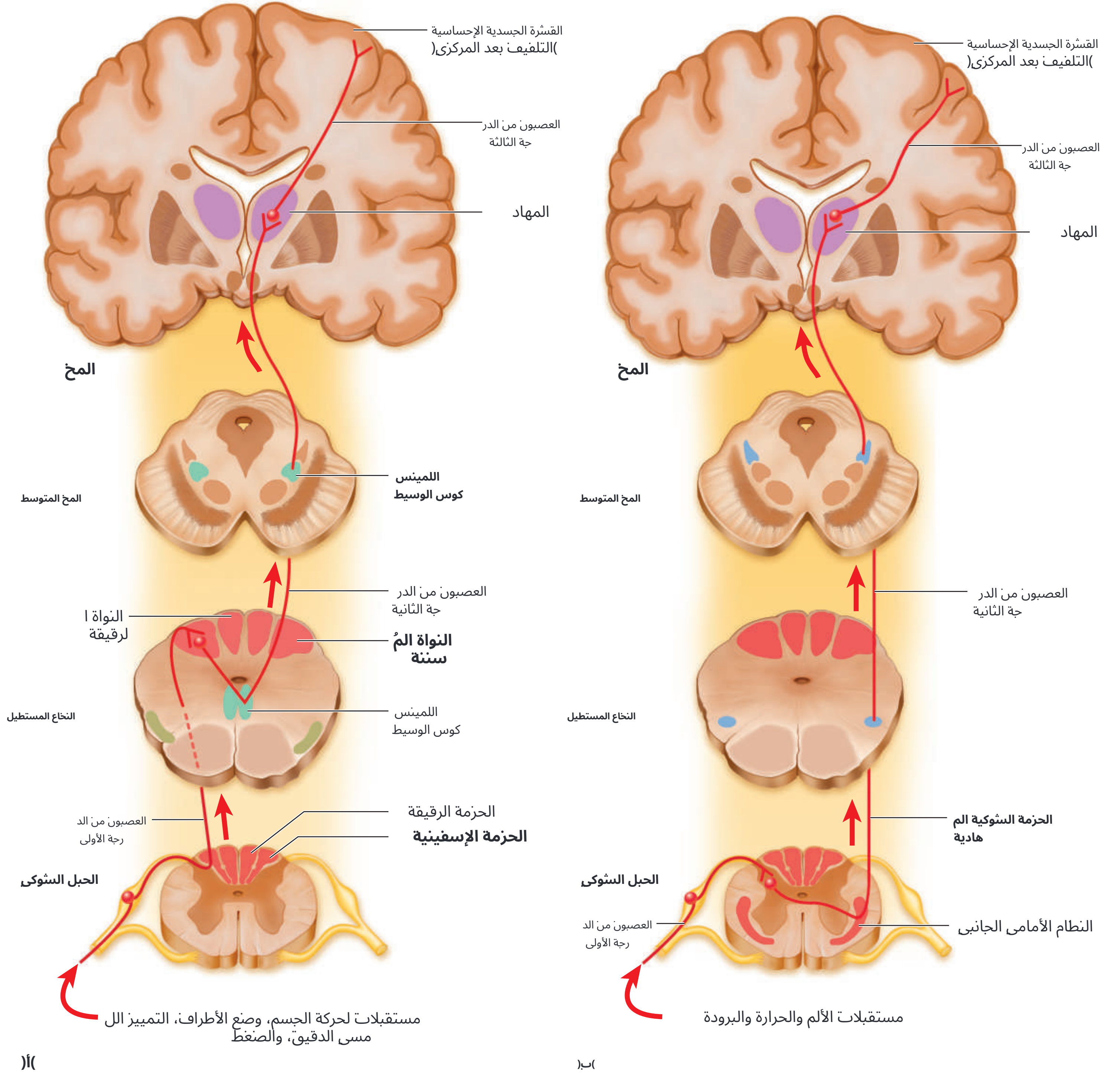
- يحمل المساران القشريان الشوكيان الجانبى والأمامى)COR-ti h-co-SPY-nul( )الشكل 13.7(الإشارات الحركية من القشرة الدماغية للحركات الدقيقة والمنسقة للأطراف. تشكل ألياف)محاور عصبية(هذا النظام نتوءات تُسمى الأهراما ت على السطح الأمامى للنخاع المستطيل، لذا كانت هذه الم سارات تُسمى سابقًا المسارات الهرمية. تتقاطع أليافها إما فى النخاع المستطيل السفلى أو فى الحبل الشوكى السفلى، لذ لك يتحكم كل نصف كرة دماغى فى عضلات الجانب المقا بل من الجسم. المسار الأمامى يصبح أصغر مع نزوله ويعطى أليا فًا عصبية، وعادةً ما يختفى عند مستوى منتصف الصدر.
- يبدأ المسار القِمّى الشوكى)TEC-toe-SPY-nul(فى سقف الدماغ المتوسط وينزل فى الحبل الشوكى المقابل.

الإحساس الناتج، على سبيل المثال، عن تمشيط الجلد غير ا لمشعر بريشة أو قطعة قطن، دون ضغط الجلد. فى هذا المسار ، تنتهى الخلايا العصبية من الدرجة الأولى فى القرن الخلفى للحبل الشوكى بالقرب من نقطة الدخول. هنا تتشابك مع الخلا يا العصبية من الدرجة الثانية، التى تعبر إلى الجانب المقابل و تشكل المسار الشوكى-المهاد الصاعد المقابل. تمتد هذه الأ لياف حتى تصل إلى المهاد. لذلك، هنا مرة أخرى، يستقبل كل نصف كرة دماغية المدخلات الحسية من الجانب المقابل للجسم.

- ينقل المسار الشوكى الشبكى إشارات الألم عبر النظام الأمامى الجانبى. تدخل ألياف الألم من الدرجة الأولى القرن الخلفى وتت شابك فورًا مع الخلايا العصبية من الدرجة الثانية. تتقاطع هذه إلى النظام الأمامى الجانبى المقابل، تصعد ف ى الحبل الشوكى، وتنتهى فى نواة غير منطمة بشكل محكم من المادة الرمادية تُسمى *التكوين الشبكى*[15] فى النخاع المس تطيل والجسر. تُناقش مسارات الألم بشكل أوسع فى الفصل 16.
- يمر المساران الشوكيان الخلفى والأمامى)SPY-no-SE RR-eh-BEL-ur(عبر الحبل الجانبى ويحملان إشارات الإحساس الذاتى من الأطراف والجذع إلى المخيخ فى ال جزء الخلفى من الدماغ. تنشأ الخلايا العصبية من الدرجة الأول ى فى العضلات والأوتار وتنتهى فى القرن الخلفى للحبل الشو كى. ترسل الخلايا العصبية من الدرجة الثانية أليافها عبر المسا رات الشوكية المخيخية وتنتهى فى المخيخ. يوفر كلا المسارين للمخيخ التغذية الراجعة اللازمة لتنسيق حركة العضلات.

[6] *تكتوم* = السقف)للمخ المتوسط(

[15] *reticul* = شبكة صغيرة



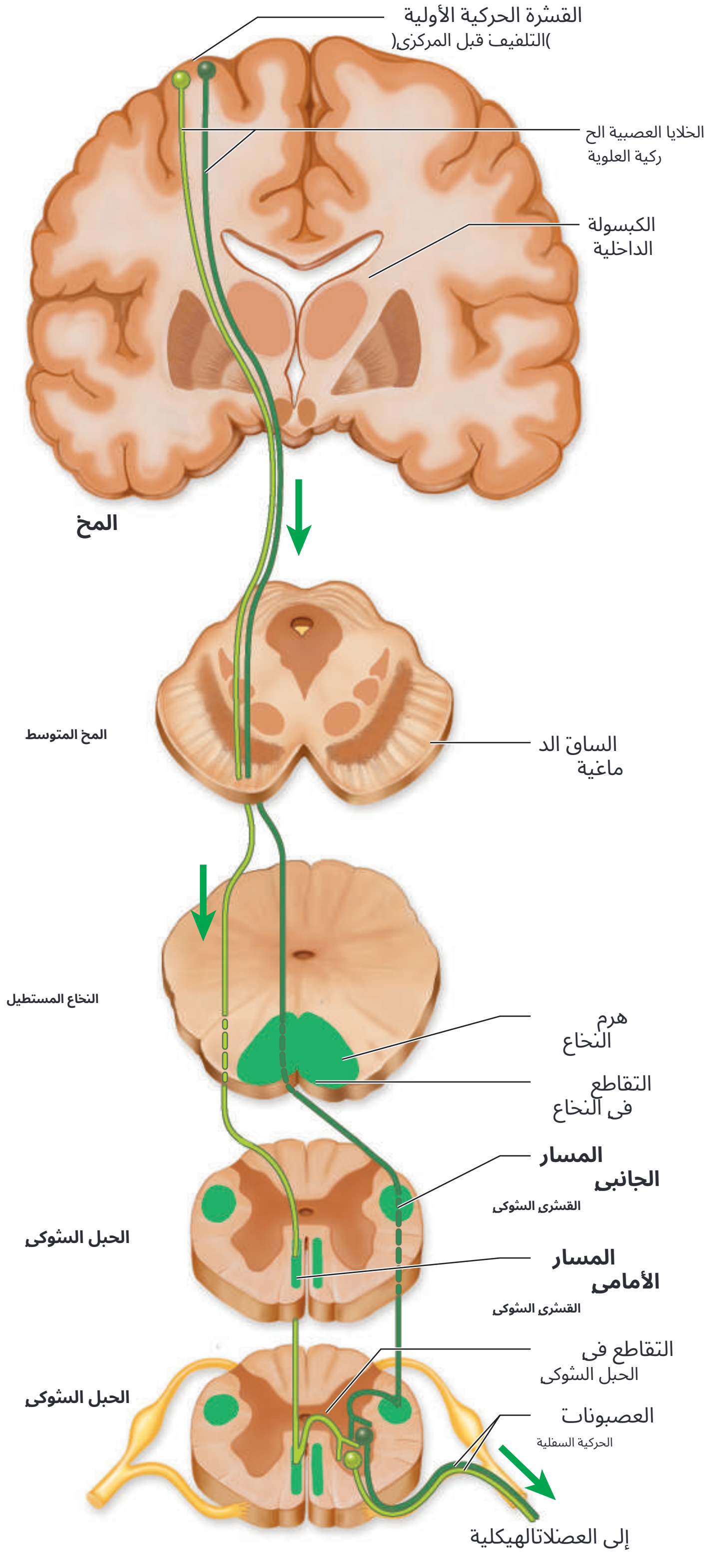
الشكل 13.6 بعض المسارات الصاعدة للجهاز العصبى المركزى. يُظهر المقطع العرضى للحبل الشوكى، النخاع، والدماغ المتوسط، والمقطع الأمامى للمخ والمهاد)فى الأعلى(. تدخل الإشارات العصبية الحبل الشوكى من أسفل الشكل وتحمل المعلومات الحسية الجسدية إلى قشرة المخ.)أ(الحزمة الإسفينية.)ب(المسار الشوكى المهادى.

خاصة للحفاظ على الوضعية والتوازن. كما يحتويان على مسارات هبوطية مسكنة تنطم نقل إشارات الألم إلى الدماغ.

- المساران الدهليزيان الجانبى والوسيط)vestibulospinal( )فى س-تيب-يو-لو-سباينل(يبدأان فى نوى الدهليزى بجذع الدماغ،

الحبل الشوكى فقط حتى الرقبة. وهو مشارك فى رد الفعل الانعكاسى لتدوير الرأس، خاصة استجابةً للمشاهد والأصوات.

- المساران الشبكيان الجانبى والوسيط)reticulospinal( )رى-تيك-يو-لو-سباينل(ينشآن فى التكوين الشبكى لجذع الدماغ. يتحكمان فى عضلات الأطراف العلوية والسفلية



الشكل 13.7 مساران هابطان للجهاز العصبى المركزى. المسارات الجان بية والأمامية للحبل الشوكى القشرى، التى تنقل الإشارات لانقباض الع ضلات الإرادى. تنشأ الإشارات العصبية فى القشرة الدماغية فى أع لى الشكل وتحمل الأوامر الحركية نزولاً عبر الحبل الشوكى.

التى تستقبل إشارات التوازن من الأذن الداخلية.
يمر المسار الدهليزى الشوكى الجانبى عبر الحبل الأمامى)funiculus anterior(ويحفز الخلايا العصبية التى تتحكم فى عضلات الباسطات للأطراف، مما يؤدى إلى تصلب الأطراف واستقامتها. هذا رد فعل مهم فى الاستجابة لانحناء الجسم والحفاظ على التوازن. ينزل المسار الدهليزى الشوكى الوسيط عبر الحبل الأمامى على جانبى الحبل الشوكى وينتهى فى الرقبة. يلعب دورًا فى التحكم فى وضعية الرأس.

طبق ما تعرفه

أنت معصوب العينين ويتم وضع كرة تنس أو كرة حديدية فى يدك اليمنى. ما المسارات الشوكية التى تحمل الإشارات التى تمكنك من التمييز بين هذين الجسمين؟

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

1. اذكر المناطق الأربع الرئيسية والتوسعتين فى الحبل الشوكى.
2. وصف الطرف البعيد)السفلى(للحبل الشوكى ومحتويات القناة الفقرية من المستوى L2 إلى S5.
3. ارسم مقطعًا عرضيًا للحبل الشوكى يطهر القرون الأمامية والخلفية. أين توجد المادة الرمادية والبيضاء؟ أين توجد الحبال والمسارات؟
4. قدم شرحًا تشريحيًا لسبب إمكانية أن يتسبب السكتة الدماغية فى نصف الكرة المخية الأيمن فى شلل الأطراف على الجانب الأيسر من الجسم.
5. حدد كلًا من المسارات الشوكية التالية — الحزمة الرقيقة)gracile fasciculus(والمسار القشرى الشوكى الجانبى)lateral corticospinal(، والمسار الشبكى الشوكى الجانبى)lateral reticulospinal(، والمسار الشوكى المهادى)spinothalamic(— مع الإشارة إلى ما إذا كانت صاعدة أو نازلة؛ منشأها ووجهتها؛ وما الأغراض الحسية أو الحركية التى تخدمها.

13.2 الأعصاب الشوكية

نتائج التعلم المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف تشريح الأعصاب والعقد بشكل عام؛
ب. وصف ارتباطات العصب الشوكى بالحبل الشوكى؛
ج. تتبع فروع العصب الشوكى البعيد عن مواضع ارتباطه؛
د. تسمية خمسة الضفائر العصبية الشوكية ووصف تشريحها العام؛
هـ. تسمية بعض الأعصاب الرئيسية التى تنشأ من كل ضفيرة وتحديد ما تعصبه؛ و
و. شرح العلاقة بين المناطق الجلدية)الدرماتومات(والأعصاب الشوكية.



رؤية أعمق 13.2

تطبيق سريرى

شلل الأطفال والتصلب الجانبى الضمورى

شلل الأطفال[17] والتصلب الجانبى الضمورى (ALS)[18] هما مرضان ينطويان على تد
مير الخلايا العصبية الحركية. فى كلا المرضين، تتضمر العضلات الهيكلية بسبب
نقص التعصيب.

شلل الأطفال يسببه فيروس شلل الأطفال، الذى يدمر الخلايا العصبية الحركية
فى جذع الدماغ والقرن الأمامى للحبل الشوكى. تشمل علامات شلل الأطفال ألم ا
لعضلات، والضعف، وفقدان بعض المنعكسات، تليها الشلل، وتضمر العضلات،
وأحيانًا توقف التنفس. ينتشر الفيروس عن طريق تلوث المياه بالبراز. تاريخيًا، أ
صاب شلل الأطفال العديد من الأطفال الذين أصيبوا بالفيروس من حمامات ال
سباحة العامة الملوثة. لفترة من الزمن، قضى لقاح شلل الأطفال تقريبًا على الحالا
ت الجديدة، لكن المرض بدأ مؤخرًا فى الظهور مجددًا بين الأطفال فى بعض مناط
ق العالم بسبب سياسات مناهضة التطعيم.

التصلب الجانبى الضمورى معروف أيضًا باسم مرض لو جيريج[19] نسبة إلى لاع
ب البيسبول الذى اضطر إلى الاعتزال بسبب المرض. يتميز ليس فقط بتدهور ال
خلايا العصبية الحركية وتضمر العضلات، بل أيضًا بتصلب)تندب(المناطق الجان
بية من الحبل الشوكى—ومن هنا جاء اسمه. تحدث معظم الحالات عندما تفشل ا
لخلايا النجمية فى إعادة امتصاص الناقل العصبى الجلوتامات من سائل الأنسجة،
مما يسمح بتراكمه إلى مستوى سام عصبيًا. تشمل العلامات المبكرة للتصلب ال
جانبى الضمورى ضعف العضلات وصعوبة فى التحدث والبلع واستخدام اليدين.
تبقى الوظائف الحسية والفكرية غير متأثرة، كما يتضح من إنجازات الفيزيائى الفل
كى والمؤلف الأكثر مبيعًا ستيفن هوكينج

)الشكل 13.8(، الذى أصيب بالتصلب الجانبى الضمورى أثناء دراسته الجامعية. ع
لى الرغم من الشلل شبه الكامل، كان يعانى من شكل بطيء التقدم من المرض، و
ظل محافظًا على قدراته الفكرية، وتواصل بمساعدة جهاز توليد الكلام والكمبيوتر. م
ن المؤسف أن الكثير من الناس يسرعون فى افتراض أن الذين فقدوا معظم قدر
تهم على التعبير عن أفكارهم ومشاعرهم لديهم أفكار ومشاعر قليلة للتعبير عنها.
بالنسبة للمصاب، قد يكون هذا أكثر إيلامًا من فقدان الوظيفة الحركية نفسها.



الشكل 13.8 ستيفن هوكينغ)1942–2018(. "عندما تم تشخيصى بمرض ال
تصلب الجانبى الضمورى لأول مرة، أعطيت عامين للعيش. والآن بعد 45
عامًا، أنا بحالة جيدة جدًا")مقابلة CNN، 2010(.
تصوير جيف روبنسون / REX / شترستوك

ثُلف ألياف الأعصاب فى الجهاز العصبى الطرفى بخلايا شوان، ال
تى تشكل غلافًا عصبيًا وغالبًا غمدًا ميلينيًا حول الليف)انظر القسم 1
2.3ب(. خارج الغلاف العصبى، يُحيط بكل ليف غشاء قاعدى ثم غلاف
رقيق من النسيج الضام الرخو يسمى الإندونيريم. فى معظم الأعصا
ب، تُجمع الألياف فى حزم تسمى الحُزَم، كل منها ملفوف بغلاف يسم
ى البيرينيريم. ألياف الأعصاب داخل أى حزمة واحدة متشابهة فى الأ
صل والوجهة.

يتكون البيرينيريم من ما يصل إلى 20 طبقة من الخلايا المتداخلة، الم
سطحة، الشبيهة بالظهارة، المحاطة بألياف الكولاجين.
ثم تُجمع عدة حزم معًا وتُلف بغلاف خارجى يسمى الإبينيريم لتكوين ا
لعصب ككل. يتكون الإبينيريم من نسيج ضام كثيف غير منتظم ويحم
ى العصب من التمدد والإصابة. تتمتع الأعصاب بمعدل أيضى مرتفع
وتحتاج إلى إمداد دموى وفير، والذى توفره الأوعية الدموية التى تخترِ
ق هذه الأغلفة النسيجية الضامة.

▶▶▶ طبق ما تعرفه

كيف تقارن بنية العصب ببنية العضلة الهيكلية؟ أى من المصطل
حات الوصفية للأعصاب لها نظائر مماثلة فى علم الأنسجة العض
لية؟

13.2أ التشريح العام للأعصاب والعقد الع
صبية

يتواصل الحبل الشوكى مع بقية أجزاء الجسم عبر الأعصاب الشوكية.
قبل أن نناقش تلك الأعصاب المحددة، من الضرورى أن نكون على در
اية ببنية الأعصاب والعقد العصبية بشكل عام.

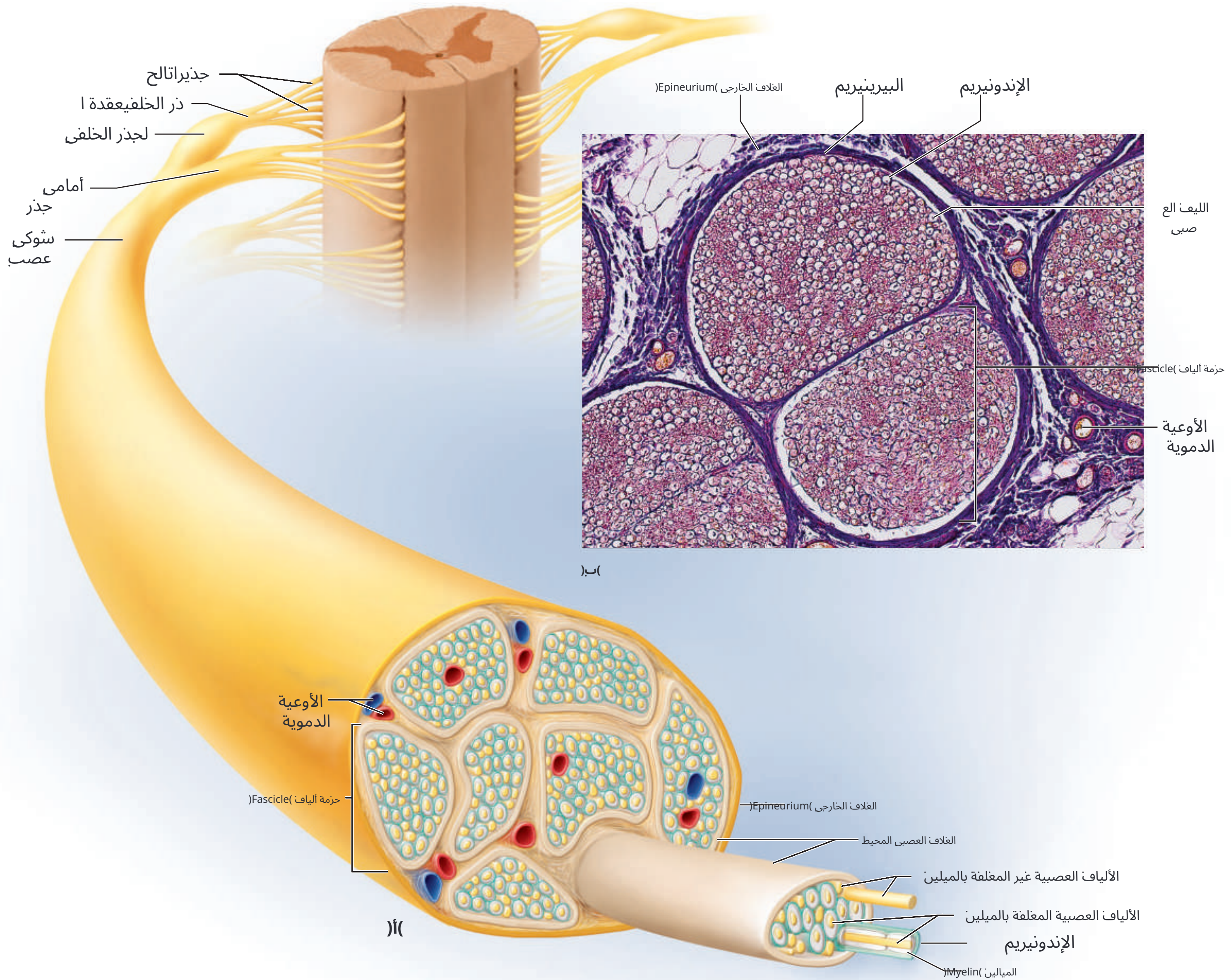
العصب هو عضو يشبه الحبل يتكون من العديد من ألياف الأع
صاب)المحاور العصبية(المرتبطة معًا بواسطة نسيج ضام)الشكل 1
3.9(. إذا قارنا ليفًا عصبيًا بسلك يحمل تيارًا كهربائيًا فى اتجاه واحد،
فإن العصب سيكون مشابهًا لكابل كهربائى يتكون من مئات الأسلاك
التى تحمل تيارات فى اتجاهات متعاكسة. يحتوى العصب على عدد
يتراوح من عدة ألياف عصبية إلى مليون ليف)كما فى العصب البصر
ى(. عادةً ما يكون لون الأعصاب أبيض لؤلؤى وتشبه الخيوط المتفرقة
عندما تنقسم إلى فروع أصغر وأصغر. كلما ابتعدنا عن الأعصاب الشو
كية نفسها، تُسمى الفروع الأصغر بالأعصاب الطرفية، وتُسمى اضطرا
باتها مجتمعة الاعتلال العصبى الطرفى.

---

[17] *شلل الأطفال* = المادة الرمادية؛ *مييل* = الحبل الشوكى؛ *إيتيس* = التهاب

[18] *أ* = بدون؛ *ميو* = عضلة؛ *تروف* = تغذية؛ *تصلب* = تصلب

[19] لو جيريج)1903–41(، لاعب بيسبول أمريكى



الشكل 13.9 تشريح العصب. (أ) عصب شوكي وارتباطه بالحبل الشوكي. (ب) مقطع عرضي لعصب. تظهر الألياف العصبية الفردية كنقاط صغيرة، كل واح
دة محاطة بحلقة خفيفة من الميالين.

ب: PASIEKA/مكتبة صور العلوم/Getty Images

العديد من الأعصاب التي توصف عادةً بأنها حركية هي في الواقع مخ
تلطة لأنها تحمل إشارات حسية للإدراك الحسي (موضع الجسم والحر
كات) من العضلات إلى الجهاز العصبي المركزي.

إذا كان العصب يشبه خيطًا، فإن العقدة العصبية (العقدة) تشبه ع
قدة في الخيط. العقدة العصبية هي تجمع لأجسام الخلايا العصبية خارج
الجهاز العصبي المركزي. وهي مغطاة بغلاف خارجي (epineurium) م
تصل بغلاف العصب. بين أجسام الخلايا توجد حزم من الألياف العصبية
التي تدخل وتخرج من العقدة. الشكل 13.10 يُظهر نوعًا من العقد المر
تبطة بالأعصاب الشوكية.

كما رأينا في الفصل 12، هناك نوعان من ألياف الأعصاب الطرفية: ا
لألياف الحسية (الواردة) التي تنقل الإشارات من المستقبلات الحسية إلى
الجهاز العصبي المركزي، والألياف الحركية (الصادرة) التي تنقل الإشارات م
ن الجهاز العصبي المركزي إلى العضلات والغدد. يمكن تصنيف كلا النوعي
ن كألياف جسدية أو أحشائية، وكألياف عامة أو خاصة اعتمادًا على الأعضاء
التي تعصبها (الجدول 13.2).

الأعصاب الحسية البحتة، المكونة فقط من ألياف واردة، نادرة؛ تشمل ا
لأعصاب المسؤولة عن الشم والرؤية. تحمل الأعصاب الحركية فقط أليافًا
صادرة. ومع ذلك، فإن معظم الأعصاب هي أعصاب مختلطة، تتكون من كل
من الألياف الواردة والصادرة، وبالتالي تنقل الإشارات في اتجاهين. ومع ذل
ك، فإن أي ليف واحد في العصب ينقل الإشارات في اتجاه واحد فقط.

[20] العقدة = عقدة

الجمجمة والأطلس، وتخرج الأعصاب الأخرى من خلال الثقوب بين الفقرات، بما في ذلك الثقوب الأمامية والخلفية للعجز والفتحة العجزية. وهكذا، تخرج الأعصاب الشوكية من C1 إلى C7 فوق الفقرات التي تحمل نفس الرقم (العصب C5 فوق الفقرة C5، على سبيل المثال)؛ ويخرج العصب C8 أسفل الفقرة C7؛ وأسفل ذلك، تخرج جميع الأعصاب المتبقية أسفل الفقرات التي تحمل نفس الرقم (العصب L3 أسفل الفقرة L3، على سبيل المثال).

الفروع القريبة

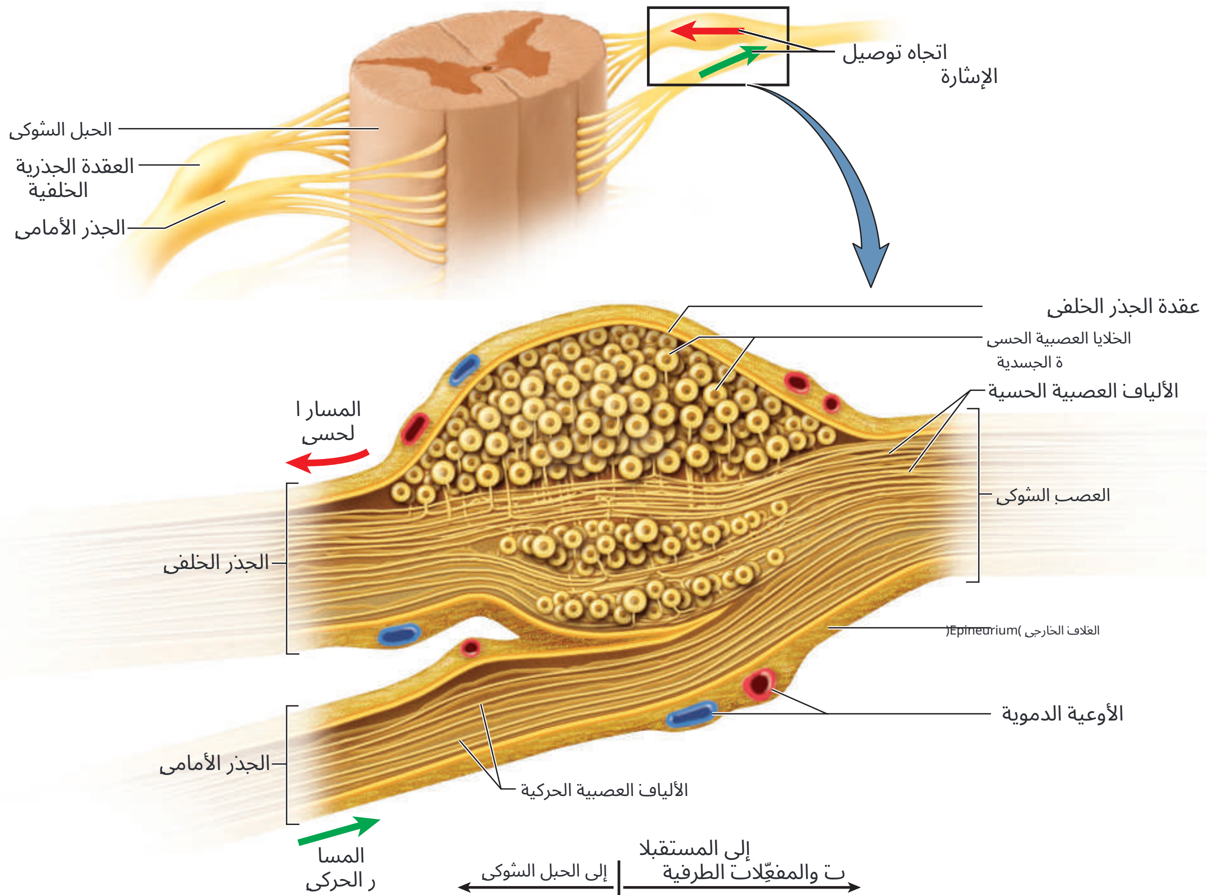
ينشأ كل عصب شوكي من نقطتي ارتباط بالحبل الشوكي. في كل مقطع من الحبل، تخرج من السطح الأمامي ست إلى ثماني جذور عصبية صغيرة وتتجمع لتشكل الجذر الأمامي (البطني) للعصب الشوكي. وتخرج من السطح الخلفي ست إلى ثماني جذور صغيرة أخرى وتتجمع لتشكل الجذر الخلفي (الظهري) (الشكلين 13.12، 13.13). وعلى مسافة قصيرة من الحبل الشوكي، يتضخم الجذر الخلفي ليشكل عقدة الجذر الخلفي (الظهري)، التي تحتوي على أجسام خلايا الخلايا العصبية الحسية (الشكل 13.10). ولا توجد عقدة مقابلة على الجذر الأمامي لأن أجسام الخلايا تقع في القرون الأمامية للحبل الشوكي.

الجدول 13.2 تصنيف الألياف العصبية

الفئة	الوصف
الألياف الواردة	تحمل الإشارات الحسية من المستقبلات إلى الجهاز العصبي المركزي
الألياف الصادرة	تحمل الإشارات الحركية من الجهاز العصبي المركزي إلى المؤثرات
الألياف الجسدية	تعصب الجلد والعضلات الهيكلية والعظام والمفاصل
الألياف الحشوية	تعصيب الأوعية الدموية والغدد والأحشاء
الألياف العامة	تعصب أعضاء واسعة الانتشار مثل العضلات، الجلد، الغدد، الأحشاء، والأوعية الدموية
الألياف الخاصة	تعصب أعضاء أكثر تحديدًا في الرأس، بما في ذلك العيون، الأذنين، مستقبلات الشم ومستقبلات التذوق، وعضلات المضغ، والبلع، وتعبير الوجه

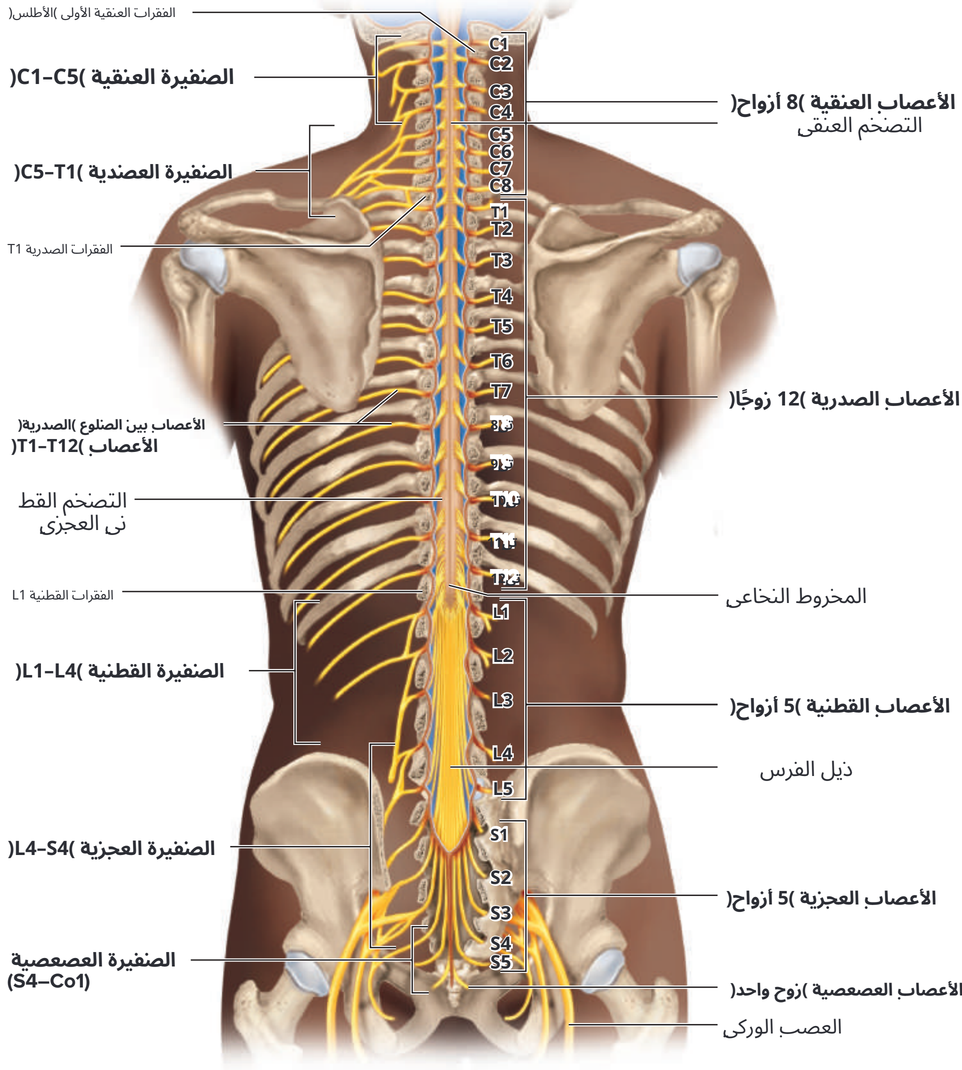
13.2ب الأعصاب الشوكية

هناك ١٣ زوجًا من الأعصاب الشوكية: ٨ عنقية (C1–C8)، ٢١ صدرية (T1–T12)، ٥ قطنية (L1–L5)، ٥ عجزية (S1–S5)، وا عصعصية (Co1) (الشكل 13.11). يظهر العصب العنقي الأول بين



الشكل 13.10 تشريح العقدة العصبية (مقطع طولي). تحتوي العقدة الجذرية الخلفية على أجسام الخلايا للعصبونات الحسية أحادية القطب التي تنقل الإشارات من أعضاء الحس الطرفية نحو الحبل الشوكي. أسفلها يوجد الجذر الأمامي للعصب الشوكي، الذي ينقل الإشارات الحركية بعيدًا عن الحبل الشوكي، نحو المؤثرات الطرفية. (الجذر الأمامي ليس جزءًا من العقدة.)

أين تقع أجسام الخلايا للعصبونات التي تنشأ منها الألياف العصبية الحركية الظاهرة هنا؟



الشكل 13.11 جذور الأعصاب الشوكية والضفائر، منظر خلفى.

على مسافة قصيرة بعد عقدة الجذر الخلفى، تندمج الجذور الأمامية والخلفية، وتخرج من الغمد الجافية، وتشكل العصب الشوكى الحقيقى)الشكل 13.12(. ثم يخرج العصب من القناة الفقرية عبر الثقب بين الفقرى. العصب الشوكى هو عصب مختلط، يحمل الإشارات الحسية إلى الحبل الشوكى عبر الجذر الخلفى والعقدة، والإشارات الحركية إلى أجزاء أبعد من الجسم عبر الجذر الأمامى.

الجذور الأمامية والخلفية هى الأقصر فى المنطقة العنقية وتزداد طولاً كلما اتجهنا للأسفل. الجذور التى تنشأ من المقاطع L2 إلى Co1 من الحبل تشكل ذيل الفرس. بعض الفيروسات تغزو الجهاز العصبى المركزى عبر جذور الأعصاب الشوكية)انظر التعمق 13.3(.

الفروع البعيدة

بعد الفقرات، تكون فروع العصب الشوكى أكثر تعقيدًا)الشكل 13.14(. فور خروج العصب من الثقب بين الفقرى، ينقسم إلى فرع أمامى[21]

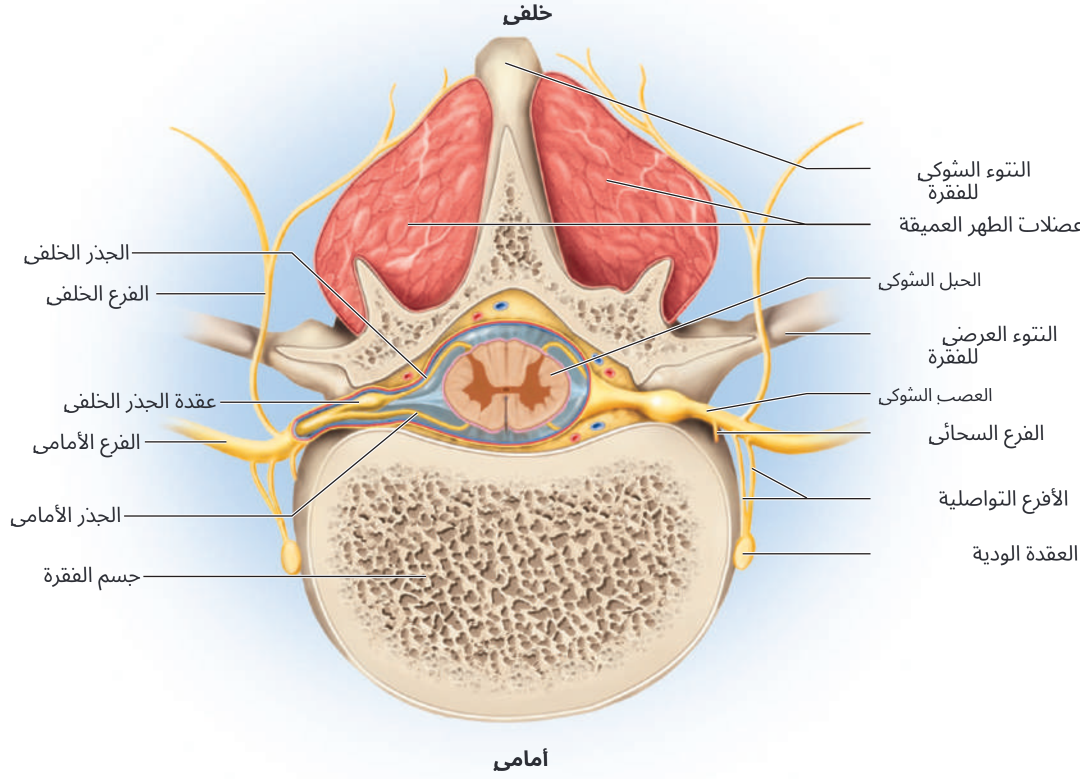
(RAY-mus). الفرع الخلفى، وفرع صغير من السحايا.
وهكذا، يتفرع كل عصب شوكى من كلا الطرفين—إلى الجذور الأمامية والجذور الخلفية التى تقترب من الحبل الشوكى، والجذور الأمامية والخلفية التى تبتعد عن العمود الفقرى.

فرع السحايا)انظر الشكل 13.12(يعيد الدخول إلى القناة الفقرية ويعصب السحايا والفقرات والأربطة الشوكية بألياف حسية وحركية. الفرع الخلفى يعصب العضلات والمفاصل فى تلك المنطقة من العمود الفقرى وجلد الظهر. الفرع الأمامى الأكبر يعصب جلد وأعضاء الجزء الأمامى والجانبى من الجذع، ويعطى أعصاب الأطراف.

يختلف الفرع الأمامى من منطقة إلى أخرى فى الجذع. فى المنطقة الصدرية، يشكل العصب بين الضلوع، الذى يمر على الحافة السفلية للضلع ويعصب الجلد وعضلات بين الضلوع)مما يساهم فى التنفس(. الألياف الحسية لفروع العصب بين الضلوع إلى الجلد هى أكثر الطرق شيوعًا لهجرة الفيروس فى المرض المؤلم المعروف باسم القوباء المنطقية)انظر نظرة أعمق 13.3(. الألياف الحركية لأعصاب بين الضلوع تعصب العضلات المائلة الداخلية، والمائلة الخارجية، والعضلات البطنية المستعرضة. جميع الفروع الأمامية الأخرى تشكل *الضفائر العصبية*، التى سيتم وصفها لاحقًا.

[21] ramus= فرع

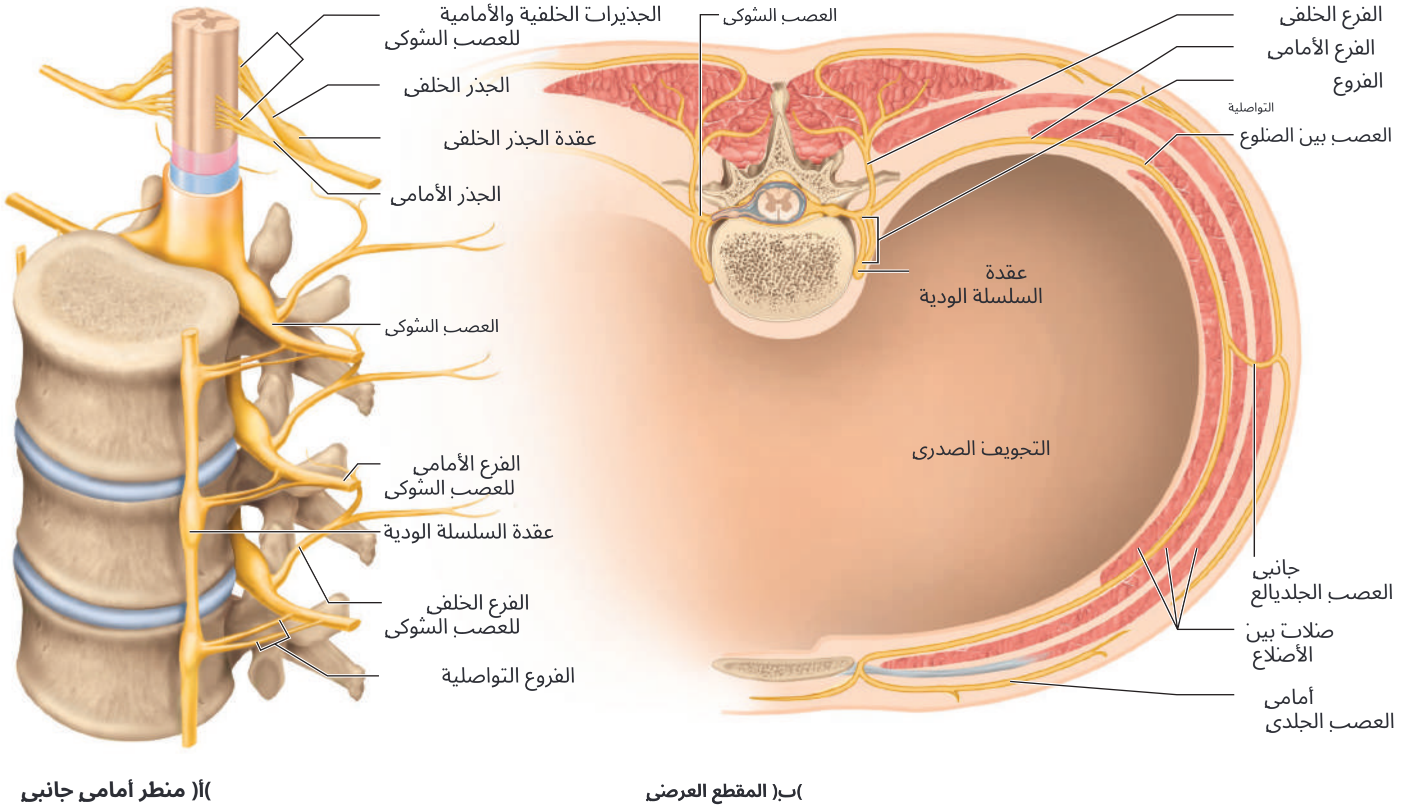
الشكل 13.12 فروع العصب الشوكى
علاقتها بالحبل الشوكى
والفقرة)مقطع عرضى(. APR





الشكل 13.13 نقطة دخول عصبين شوكيين إلى الحبل الشوكى. منظر خلفى)ظهرى(مع إزالة الفقرات. لاحظ أن كل جذر خلفى ينقسم إلى عدة جذور صغيرة تدخل الحبل الشوكى. جزء من الحبل الشوكى هو الجزء الذى يستقبل جميع الجذور الصغيرة لعصب شوكى واحد.

هـ فى الجذور المصنفة للعصب الشوكى C5، ل ألياف العصب واردة أم صادرة؟ كيف تعرف ذلك؟



الشكل 13.14 فروع الأعصاب الشوكية.)أ(منظر أمامى جانبى للأعصاب الشوكية وتقسيماتها بالنسبة للحبل الشوكى والفقرات.)ب(مقطع عرضى للصدر يُظهر تعصيب عضلات وجلد الصدر والظهر. هذا المقطع مقطوع عبر عضلات بين الأضلاع بين ضلعين.

العصب الكعبرى والعصب الوركى، هما مواقع إصابات عصبية فريدة موصوفة فى التعمق 13.4.

الأعصاب المدرجة هنا لها وظائف حسية حركية. *الحسية الجسدية* تعنى أنها تنقل إشارات حسية من العظام والمفاصل والعضلات والجلد، على عكس المدخلات الحسية من الأحشاء أو من أعضاء الحواس الخاصة مثل العينين والأذنين. الإشارات الحسية الجسدية تشمل اللمس، والحرارة، والبرودة، والتمدد، والضغط، والألم، وغيرها من الأحاسيس. واحدة من أهم الأدوار الحسية الجسدية لهذه الأعصاب هى الإحساس بالموضع)الإدراك الحسى الذاتى(.

الوظيفة الحركية لهذه الأعصاب هى بشكل أساسى تحفيز انقباض العضلات الهيكلية. كما تعصب عظام المناطق المقابلة، وتحمل أليافًا ذاتية إلى بعض الأحشاء والأوعية الدموية، مما يضبط تدفق الدم حسب الاحتياجات المحلية.

الجداول التالية تحدد مناطق الجلد التى تعصبها الألياف الحسية ومجموعات العضلات التى تعصبها الألياف الحركية للأعصاب الفردية. توفر جداول العضلات فى الفصل 10 تفصيلًا أكثر دقة للعضلات التى يغذيها كل عصب والأفعال التى تقوم بها. يمكنك افتراض أنه لكل عضلة، تحمل هذه الأعصاب أيضًا أليافًا حسية من مستقبلات الإحساس الذاتى الخاصة بها. فى جميع هذه الجداول، يتم اختصار العصب إلى *n.* والأعصاب إلى *nn.*

كما هو موضح فى الشكل 13.14، يعطى الفرع الأمامى أيضًا زوجًا من *الفروع التواصلية*، التى تتصل بسلسلة من عقد السلسلة الودية على طول العمود الفقرى. هذه تُرى فقط فى الأعصاب الشوكية من T1 إلى L2. وهى مكونات الجهاز العصبى الودى وتُناقش بشكل أوسع فى الفصل 15.

13.2ح الصفائر العصبية

باستثناء المنطقة الصدرية، تتفرع الفروع الأمامية وتتصل)تندمج(مرارًا لتشكل خمسة شبكات تُسمى الصفائر العصبية: الصفيرة العنقية الصغيرة فى الرقبة، الصفيرة العضدية بالقرب من الكتف، الصفيرة القطنية فى أسفل الظهر، الصفيرة العجزية أسفلها مباشرة، وأخيرًا، الصفيرة العصعصية الصغيرة المجاورة للعجز السفلى والعصعص. يُظهر الشكل 13.11 نظرة عامة على هذه الصفائر؛ ويتم وصفها فى الجداول الأربعة التالية، بدءًا من الجدول 13.3.

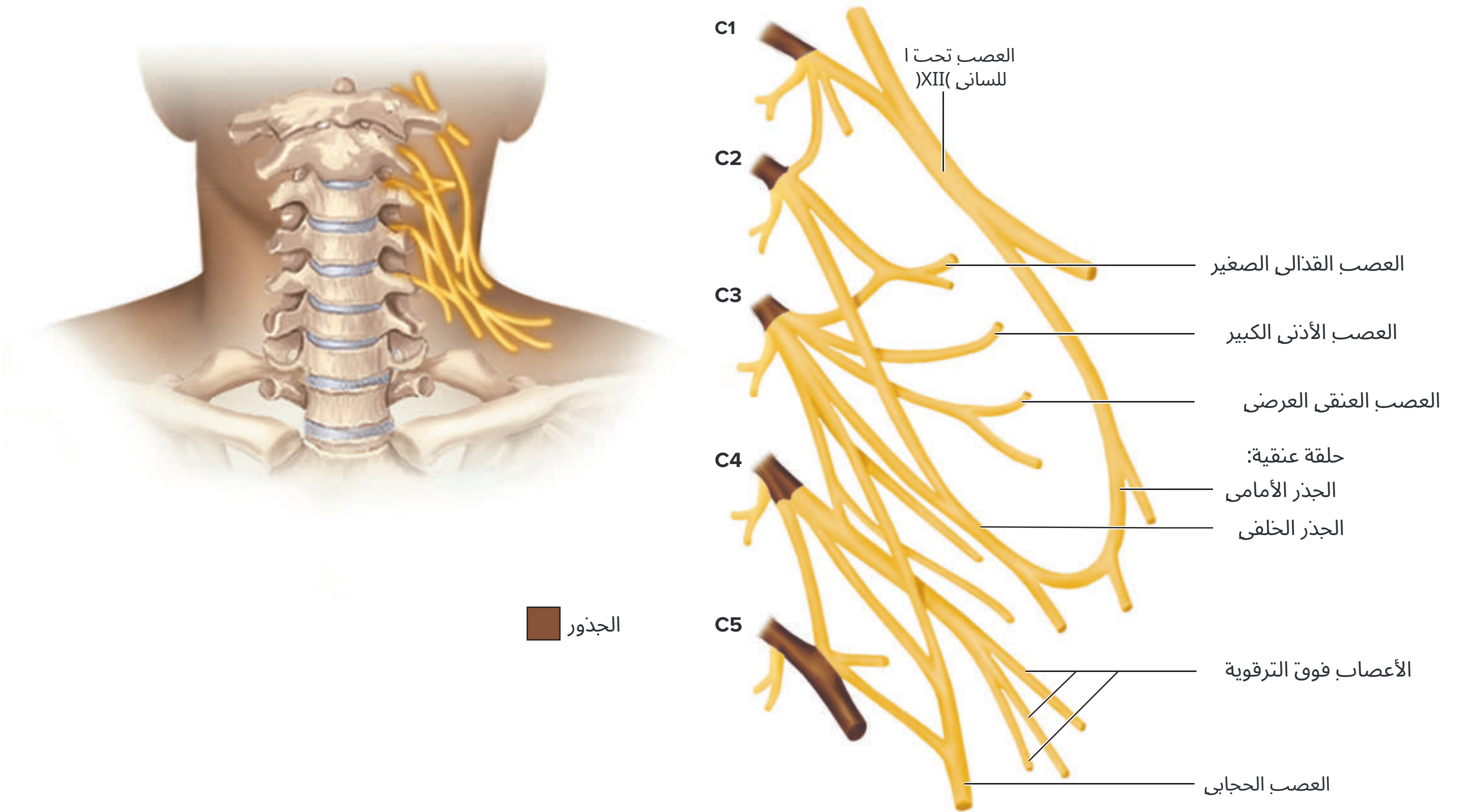
جذور الأعصاب الشوكية التى تنشأ منها كل صفيرة مُشار إليها باللون البنى فى كل رسم توضيحى. بعض هذه الجذور تُنتج فروعًا أصغر تُسمى *الجذوع، الأقسام الأمامية، الأقسام الخلفية، والأحبال*، التى يتم ترميزها بالألوان وشرحها فى الرسوم التوضيحية الفردية. اثنان من الأعصاب الناشئة من هذه الصفائر،

على كل جانب من جانبى المنصف، تعصب الحجاب الحاجز، و تلعب دورًا لا غنى عنه فى التنفس)انظر الشكل 15.3(. بالإضافة إلى ا لأعصاب الرئيسية المدرجة فى الجدول 13.3، يخرج الصنفيرة العنقية عدة فروع حركية تعصب عضلات الجينيوهيويد، والثايروهيويد، والس كالين، والرافعة للكتف، والترابيزيوس، والعضلة القصية الترقوية الخ شائية.

الصنفيرة العنقية

الصنفيرة العنقية على كل جانب من الرقبة)الشكل 13.15(تستقبل الأعصاب من الفروع الأمامية للأعصاب C1 إلى C5 وتؤدى إلى الأعصاب المدرجة فى الجدول 13.3، مرتبة من الأعلى إلى الأسفل. الأكثر من بين هذه الأعصاب المهمة هى الأعصاب الحجاب الحاجز[22])FREN-ic(، التى تنتقل

[22] الحجاب الحاجز = الحجاب الحاجز



APR الشكل 13.15 الصنفيرة العنقية.

توقع عواقب حادث جراحى يتم فيه قطع العصب الحجابى.

الجدول 13.3 الصنفيرة العنقية

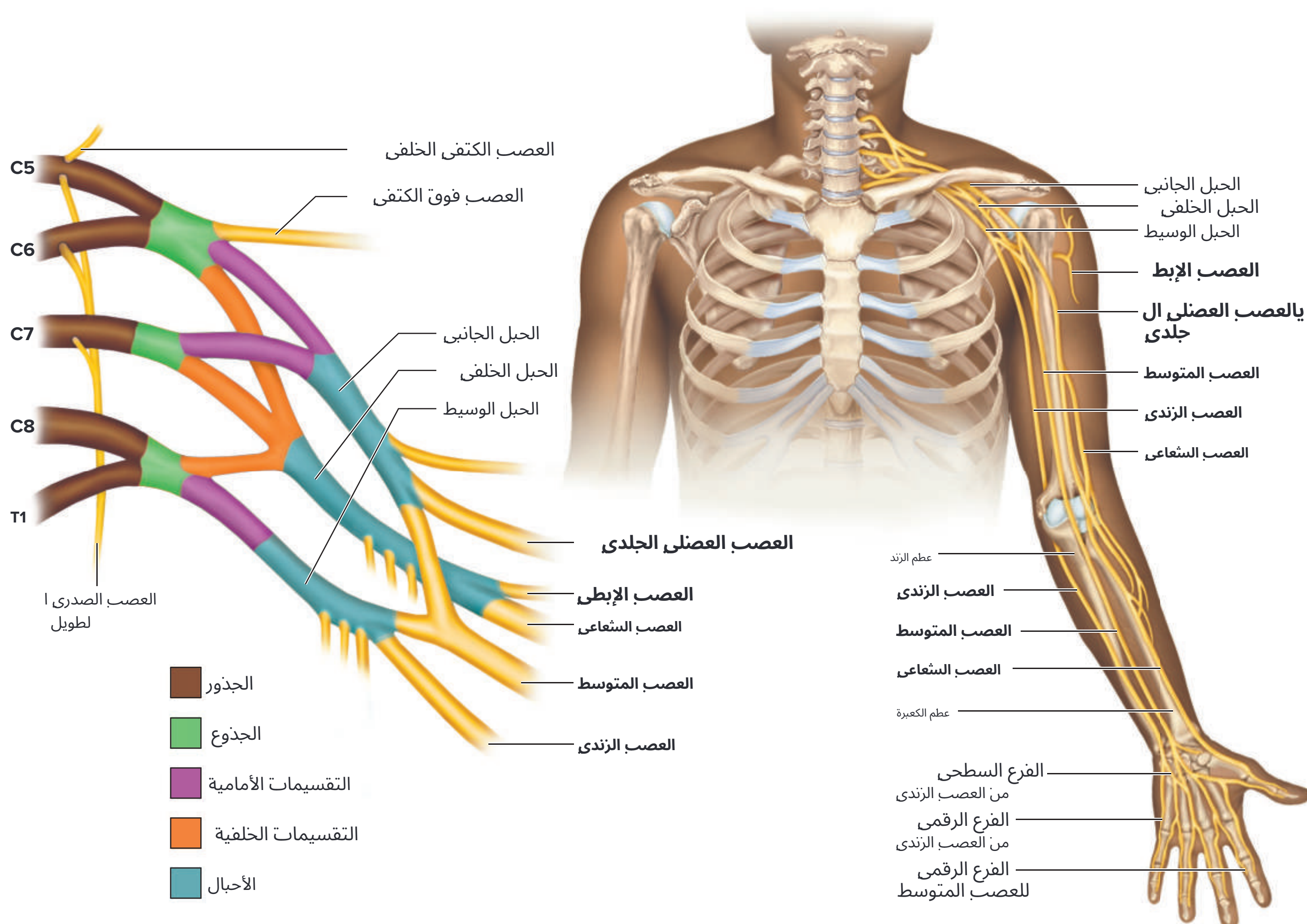
العصب	التركيب	التعصيب الجلدى والحسى الآخر	التعصيب العضلى)الحركى والإحساسى العميق(
العصب القذالى الصغير	الحسى الجسدى	ثلث علوى من السطح الوسيط للأذن الخارجية، الجلد خلف الأذن، الر قبة الخلفية الجانبية	لا شىء
العصب الأذنى الكبير	الحسى الجسدى	معطم الأذن الخارجية، منطقة الخشاء، المنطقة من غدة اللعاب النك فية)انظر الشكل 10.7(إلى أسفل قليلاً من زاوية الفك السفلى	لا شىء
العصب العنقى العرضى	الحسى الجسدى	الرقبة الأمامية والجانبية، الجانب السفلى من الذقن	لا شىء
حلقة العنق	محرك	لا شىء	عضلات الأوموهيويد، الستير نوهيوميد، وستيرنوثيرويد)انظر الجد ول 10.2(
الأعصاب فوق الترقوية	الحسى الجسدى	الجزء الأمامى السفلى والجانبى من الرقبة، الكتف، الصدر الأمامى	لا شىء
العصب الحجابى	مختلط	الحجاب الحاجز، الجنبة، والتامور	الحجاب الحاجز)انظر الجدول 10.4(

ينقسم إلى تقسيم أمامي وتقسيم خلفي. عند تشريح الجسم من الجا نب الأمامي للكتف إلى الداخل، توجد التقسيمات الأمامية أمام الخل فية. وأخيرًا، تندمج التقسيمات الستة لتشكل ثلاث حزم ألياف كبيرة —الأحبال الجانبية، الخلفية، والوسطى. تنشأ من هذه الأحبال الأعصا ب الخمسة الرئيسية المدرجة في الجدول 13.4 بترتيب الشكل 13.1 6 من الأعلى إلى الأسفل.

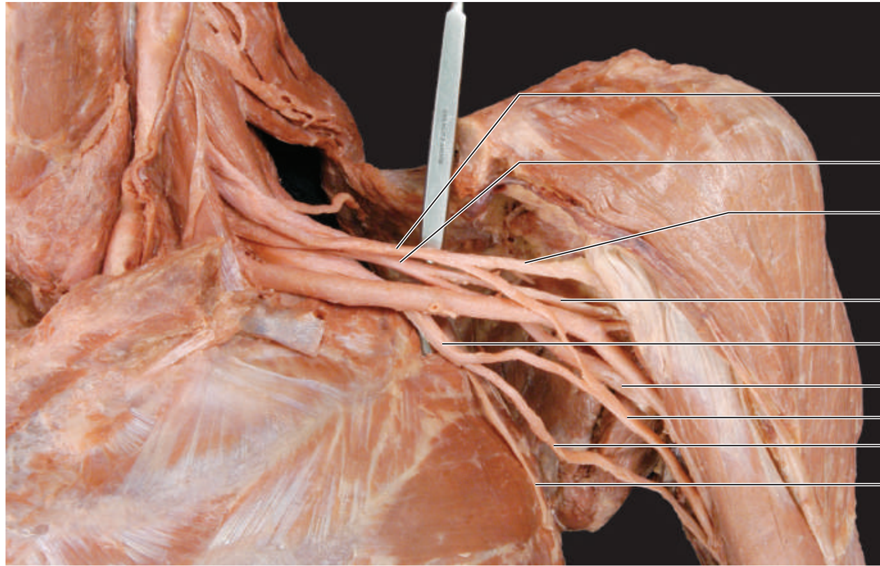
من بين وظائف أخرى، تحمل هذه الأعصاب إشارات حسية من جلد الكتف والطرف العلوي إلى الحبل الشوكي.
الشكل 13.18 يُظهر مناطق الرسغ واليد التي تُعصّب بواسطة الألياف الحسية لهذه الأعصاب)باستثناء العصب الإبطي، الذي لا يمتد إلى ا لساعد(. تتحكم الألياف الحركية لهذه الأعصاب في عضلات الكتف وا لطرف العلوي.

الصفيرة العضدية

تتكون الصفيرة العضدية)الأشكال 13.16، 13.17(بشكل رئيسي من الفروع الأمامية للأعصاب C5 إلى T1)تساهم C4 وT2 بمساهمات صغيرة(. تمر فوق الضلع الأول إلى الإبط وتعصب الطرف العلوي وبع ض عضلات الرقبة والكتف.
تشتهر هذه الصفيرة بشكلها الواضح M أو W الذي يُرى في تشريح الح ثث.
تُسمى التقسيمات الفرعية لهذه الصفيرة الجذور، الجذوع، التق سيمات، والأحبال)ملونة في الشكل 13.16(. الجذور الخمسة هي ال فروع الأمامية من C5 إلى T1. تتقارب الجذور C5 وC6 لتشكل الجذع ا لعلوي؛ يستمر C7 كالجذع الأوسط؛ وتتقارب C8 وT1 لتشكل الجذع ا لسفلي. كل جذع



الشكل 13.16 الصفيرة العضدية. الأعصاب الموسومة تعصب العضلات المدرجة في الفصل 10، وتلك المكتوبة بالخط العريض مفصلة أكثر في ذلك الجد ول. APR

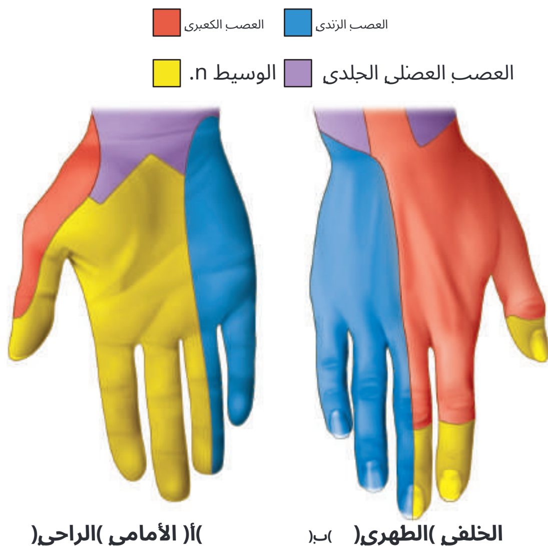


الشكل 13.17 الصفيرة الع
صدية لجثة ميتة. المنظر الأمامى للك
تف الأيسر. معظم الهياكل الأخرى ال
تى تشبه الأعصاب فى هذه الصورة
هى أوعية دموية.

كريستين إكل / ماكجرو هيل

الجدول 13.4 **الصنفيرة العضدية**

العصب	التركيب	حبل الأ صل	التعصيب الجلدى والمفصلى)حسى(	التعصيب العضلى)حركى و إدراكى(
العصب العضلى الجلدى	مختلط	جانبى	جلد الساعد الأمامى الجانبى؛ مفصل الكو ع	عضلات العضلة العضدية، العضلة ذات الراسين العضدية، و عضلة الكوراكوبراكياليس)انظر الجداول 10.9، 10.10(
العصب الإبطى	مختلط	خلفى	جلد الكتف والذراع الجانبى؛ مفصل الكتف	عضلات الدالية والعضلة المدورة الصغرى)انظر الج دول 10.9(
العصب الكعبرى	مختلط	خلفى	جلد الذراع الخلفى؛ الساعد والمعصم الخ لفى والجانبى؛ مفاصل الكوع والمعصم واليد	فى الغالب عضلات الباسطة فى الذراع وال ساعد الخلفى)انظر الجداول 10.10، 10.11(
الوسيط n.	مختلط	جانبى و وسطى	جلد الثلثين الجانبيين من اليد؛ أطراف الأ صابع من الأول إلى الرابع؛ مفاصل اليد	فى الغالب عضلات ثنى الساعد؛ مجموعة الإبهام والعضلات المربعة الأولى والثانية فى اليد)انظر الجداول 10.10–10.12(
العصب الزندى	مختلط	وسطى	جلد راحة اليد والجانب الوسطى من اليد والأصابع من الثالث إلى الخامس؛ مفاصل الكوع وا ليد	بعض عضلات ثنى الساعد؛ العضلة المضافة للإبهام؛ مج موعة تحت الإبهام؛ العضلات بين العظام؛ العضلات المر بعة الثالثة والرابعة)انظر الجداول 10.11، 10.12(



الشكل 13.18 التعصيب الجلدى لليد بواسطة الأعصاب من الصفيرة العضدية.)أ(من
ظر أمامى)راحى(.)ب(منظر خلفى)ظهرى(.



رؤية أعمق 13.3

تطبيق سريري

الحزام النارى

جدرى الماء)الحماق(، وهو مرض شائع فى الطفولة المبكرة، يسببه فيروس *varicella-zoster*[23]. يسبب طفحًا جلديًا حاكًا عادةً ما يزول دون مضاعفات فورية. ومع ذلك، يبقى الفيروس مدى الحياة فى العقد الجذرية الخلفية، محكومًا من قبل الجهاز المناعى. إذا ضعف الجهاز المناعى، يمكن للفيروس أن ينتقل عبر ألياف الأعصاب الحسية بواسطة النقل المحورى السريع)انظر القسم 12.2د(ويسبب الحزام النارى)الهربس[24] النطاقى(.

علامات الحزام النارى هى مسار مؤلم من تغير لون الجلد وحويصلات مملوءة بالسوائل على طول مسار العصب)الشكل 13.19(. تظهر هذه عادة فى الصدر والخصر، وغالبًا على جانب واحد فقط من الجسم. يمثل شريط الجلد المتأثر المنطقة الجلدية لذلك العصب، وسيتم شرحها لاحقًا)القسم 13.2د(. فى بعض الحالات، تظهر الآفات على جانب واحد من الوجه، خاصة فى وحول العين، وأحيانًا فى الفم.

لا يوجد علاج شافٍ، وعادةً ما تلتئم الحويصلات تلقائيًا خلال 1 إلى 3 أسابيع. فى هذه الأثناء، يمكن للأسبرين والمراهم الستيرويدية أن تساعد فى تخفيف الألم والالتهاب الناتج عن الآفات. يمكن للأدوية المضادة للفيروسات مثل الأسيكلوفير أن تقصر مدة نوبة الحزام النارى، ولكن فقط إذا تم تناولها خلال أول يومين إلى ثلاثة أيام من ظهور الأعراض. ومع ذلك، حتى بعد اختفاء الآفات، يعانى بعض الأشخاص من ألم شديد على طول مسار العصب)الألم العصبى التالى للهربس، PHN(، يستمر



الشكل 13.19 آفة الحزام النارى تتبع الجلد العصبى لعصب حسى.

فرانسيسكوديازباجادور/iStock/Getty Images

لفترات تمتد لأشهر أو حتى سنوات. الألم العصبى التالى للحزام النارى)PHN(صعب العلاج، لكن مسكنات الألم ومضادات الاكتئاب تقدم بعض الفائدة. الحزام النارى شائع بشكل خاص بعد سن الخمسين. التطعيم ضد جدرى الماء فى الطفولة يقلل من خطر الإصابة بالحزام النارى فى وقت لاحق من الحياة. يُوصى بالتطعيم للكبار فى الولايات المتحدة للأشخاص الأصحاء الذين تزيد أعمارهم عن 60 عامًا.

[23] جدرى الماء)*varicella*(= بقعة صغيرة؛ الزوستر)*zoster*(= حزام

[24] الهربس)*herpes*(= زحف

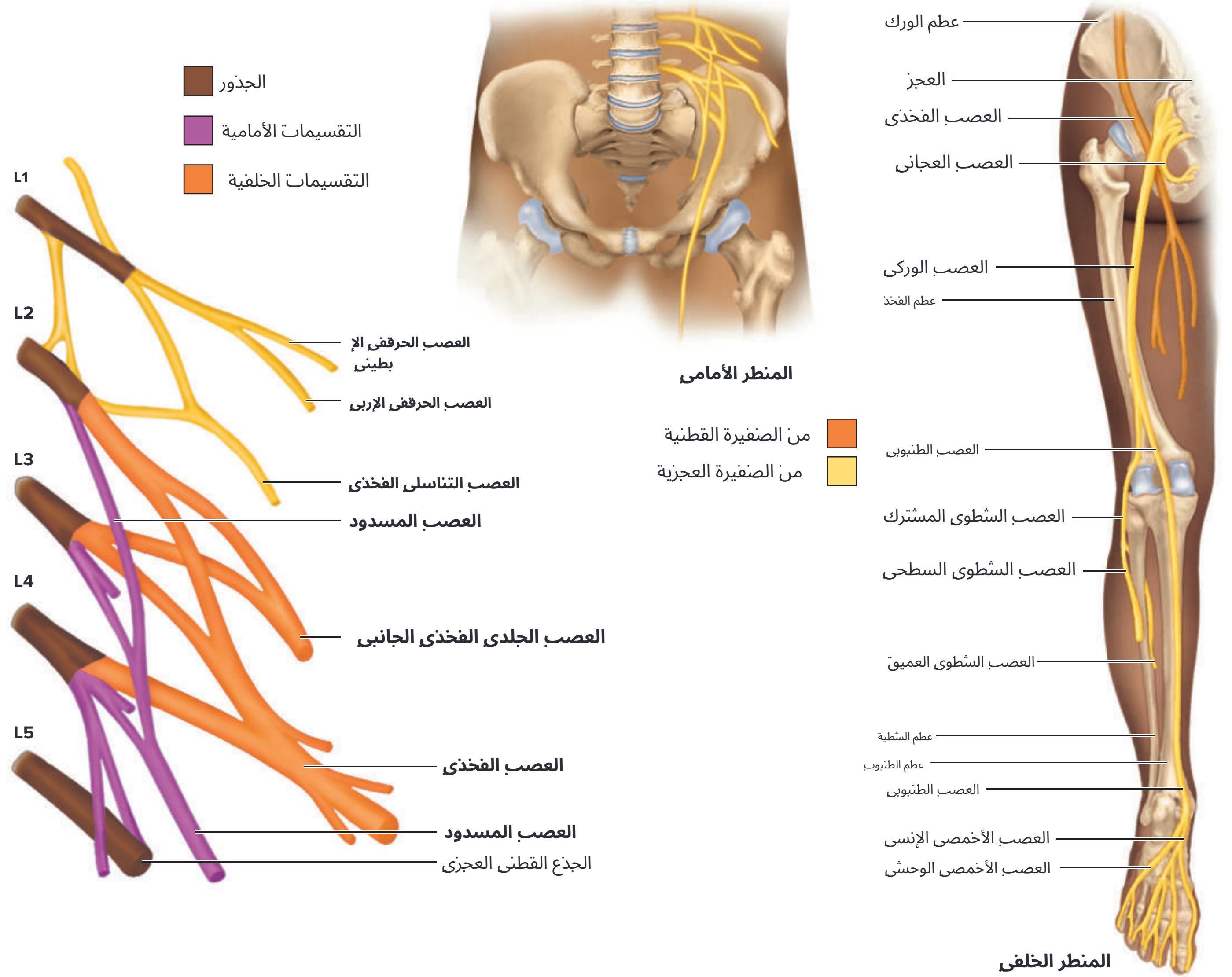
الألياف الحسية لهذه الأعصاب تنقل الإشارات من مفاصل الورك والركبة ومن جلد الأعضاء التناسلية، والمنطقة السفلية من البطن، والمناطق الألوية الجانبية الخلفية، والفخذ، والساق، والقدم. الألياف الحركية تتحكم فى عضلات الورك، والفخذ، وكيس الصفن.

الضفيرة القطنية

تتكون الضفيرة القطنية)الشكل 13.20(من الفروع الأمامية للأعصاب L1 إلى L4 وبعض الألياف من T12. مع وجود خمسة جذور فقط وقسمين، فهى أقل تعقيدًا من الضفيرة العضدية. تعطى هذه الضفيرة ستة أعصاب رئيسية، مدرجة فى الجدول 13.5 بترتيب تنازلى تشريحى.

الجدول 13.5 الضفيرة القطنية

العصب	التركيب	التعصيب الجلدى والمفصلى)حسى(	التعصيب العضلى)حركى و إدراكى(
العصب الحرقفى تحت البطنى)Iliohypogastric n	مختلط	جلد المنطقة السفلية الأمامية من البطن والمناطق الألوية الجانبية الخلفية	العضلات المائلة الداخلية والخارجية والعضلات البطنية العرضية)انظر الجدول 10.5(
العصب الإيليوينغوينال	مختلط	جلد الجزء العلوى من الفخذ الأوسط؛ كيس الصفن عند الذكور وجذر القضيب؛ الشفران الكبيران عند الإناث	العضلة المائلة الداخلية
العصب الجنيوفيمورال	مختلط	جلد الجزء الأوسط الأمامى من الفخذ؛ كيس الصفن عند الذكور؛ الشفران الكبيران عند الإناث	عضلة الكريماستر عند الذكور)انظر الشكل 27.7(
العصب الجلدى الفخذى الجانبى	الحس الجسدى	جلد الجزء الأمامى والعلوى الجانبى من الفخذ	لا شىء
العصب الفخذى	مختلط	جلد الجزء الأمامى والوسطى والجانبى من الفخذ والركبة؛ جلد الساق والقدم من الجانب الوسطى؛ مفاصل الورك والركبة	عضلات الإيلياكوس، والبيكتينيوس، والعضلة الرباعية الفخذ، و العضلة السارتوريوس)انظر الجداول 10.13، 10.14(
العصب الإبطانى	مختلط	جلد الفخذ الداخلى؛ مفاصل الورك والركبة	العضلة الإبطانية الخارجية؛ عضلات الفخذ الداخلية)الضامة( )انظر الجدول 10.13(



APR الشكل 13.20 الضفيرة القطنية.

عبر الشق الوركى الأكبر لعظم الحوض، ويمتد على طول الفخذ، وينته
ى فى الحفرة خلف الركبة)الحفرة الإبطية(. هنا، ينفصل العصب الظن
بوبى والعصب الشظوى المشترك ويتبع كل منهما مساره الخاص إلى
الساق. ينزل العصب الظنبوبى عبر الساق ثم يعطى الأعصاب الوسط
ية وأعصاب باطن القدم.

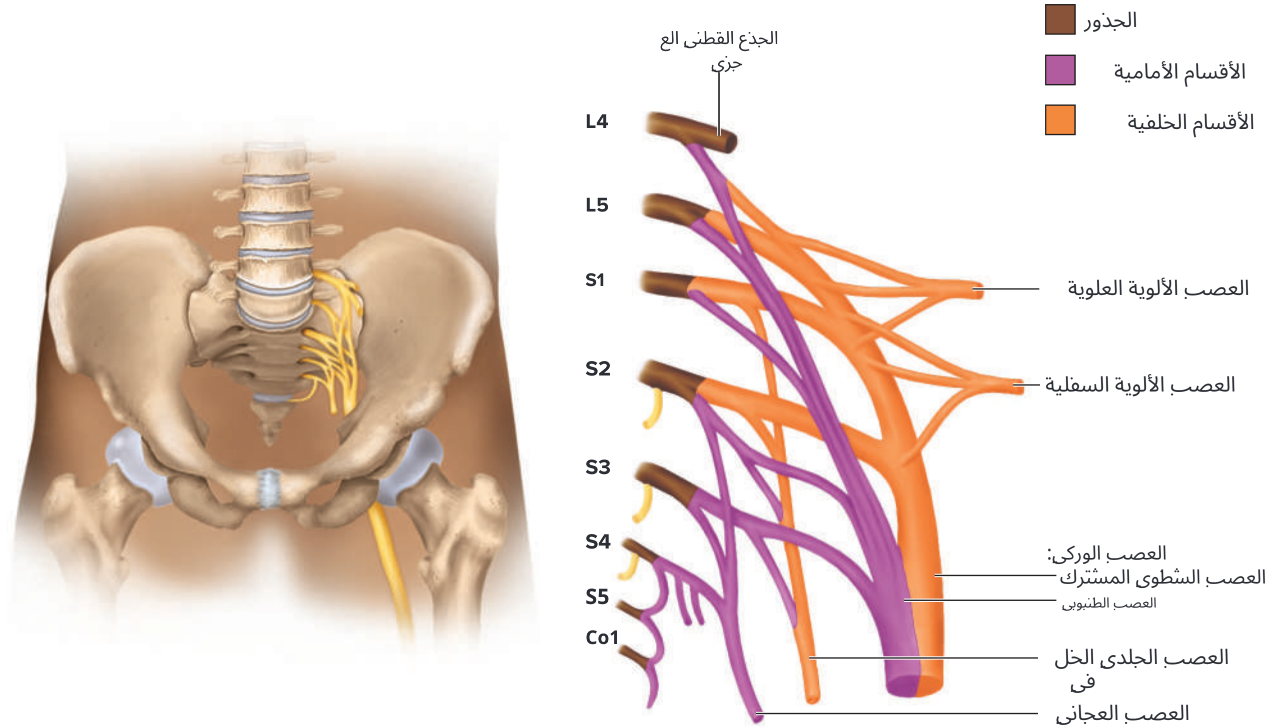
ينقسم العصب الشظوى المشترك إلى أعصاب شظوية عميقة وأع
صاب شظوية سطحية.

تحمل الألياف الحسية لهذه الأعصاب إشارات من مفاصل الورك
والركبة والقدم؛ ومن مناطق الأرداف والعجان والأعضاء التناسلية؛ وم
ن الجلد من منطقة الأرداف إلى القدم. تتحكم الألياف الحركية فى ع
ضلات مناطق الأرداف والعجان والفخذ والساق والقدم.

الضفائر العجزية والعصعصية

تتكون الضفيرة العجزية من الفروع الأمامية للأعصاب L4، L5، وS1 ح
تى S4. لها ستة جذور وانقسامات أمامية وخلفية. وبما أنها متصلة با
لضفيرة القطنية بواسطة ألياف تمر عبر الجذع القطنى العجزى، فإن ا
لضفيرتين يُشار إليهما أحيانًا معًا باسم الضفيرة القطنية العجزية. ال
ضفيرة العصعصية هى ضفيرة صغيرة تتكون من الفروع الأمامية للأع
صاب S4، S5 وCo1)الشكل 13.21؛ الجدول 13.6(.

تسير الأعصاب الظنبوبية والعصب الشظوى المشترك معًا خلال
غمد نسيجى ضام؛ ويُشار إليهما معًا باسم العصب الوركى)سى-آت-
يك(، وهو مركز شائع للإصابة والألم)انظر التعمق 13.4(. يمر العصب
الوركى



APR الشكل 13.21 الضفائر العجزية والعصعصية.

الجدول 13.6	الضفائر العجزية والعصعصية		
العصب	**التكوين**	**التعصيب الجلدى والمفصلى)حسى(**	**التعصيب العضلى)حركى و إدراكى(**
العصب الألوية العلوية	مختلط	مفصل الورك	عضلات الألوية الصغرى، الألوية الوسطى، و عضلة المشد للفافة العريضة)انظر الجدول 10.13(
العصب الألوية السفلية	مختلط	لا شيء	عضلة الألوية الكبرى)انظر الجدول 10.13(
العصب الجلدى الخلفى	الحس الجسدى	جلد منطقة الأرداف، العجان، الفخذ الخلفى والو سيط، حفرة الركبة، والجزء العلوى الخلفى من السا ق	لا شيء
العصب الظنبوبى	مختلط	جلد الساق الخلفى؛ جلد باطن القدم؛ مفاصل الرك بة والقدم	عضلات أوتار الركبة؛ العضلات الخلفية للساق)انظر ا لجداول 10.14، 10.15(؛ معظم عضلات القدم الداخلية)عبر الأعصاب الأخمصية( )انظر الجدول 10.16(
الأعصاب الشظوية)الظنبوبية( )العصب الشظوى المشتر ك، العميق، والسطحى(	مختلط	جلد الثلث الأمامى البعيد من الساق، ظهر القدم، وأصا بع القدم الأولى والثانية؛ مفصل الركبة	عضلة ذات الرأسين الفخذية؛ العضلات الأمامية و الجانبية للساق؛ عضلة الباسطة القصيرة لأصابع القدم)انظر الجداول 10.14–10.16(
العصب العانى	مختلط	جلد القضيب وكيس الصفن لدى الذكر؛ البظر، ا لشفران الكبيران والصغيران، والمهبل السفلى لدى ا لأنثى	عضلات العجان)انظر الجدول 10.7(



نظرة أعمق 13.4

التطبيق السريرى

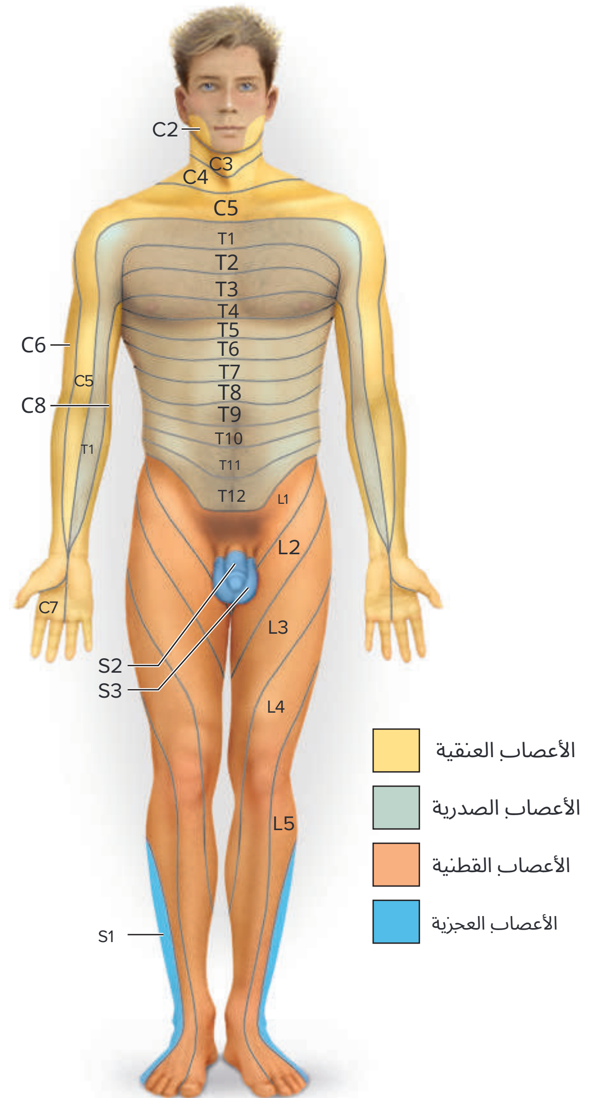
إصابات الأعصاب

العصب الكعبرى والعصب الوركى معرضان بشكل خاص للإصابة. العصب الكعبرى، الذى يمر عبر الإبط، قد يُضغط على عظم العضد بواسطة عكازات غير مضبوطة بشكل صحيح، مما يسبب شلل العكاز. وغالبًا ما كانت تحدث إصابة مماثلة نتيجة للممارسة التى تم دحضها الآن لتصحيح خلع الكتف بوضع القدم فى إبط الشخص وسحب الذراع. أحد نتائج إصابة العصب الكعبرى هو هبوط المعصم — حيث تبقى الأصابع واليد والمعصم مثنية بشكل مزمن لأن عضلات الباسطة التى يغذيها العصب الكعبرى مشلولة ولا تستطيع معارضة العضلات المثنية.

بسبب موقعه وطوله، فإن العصب الوركى فى الورك والفخذ هو العصب الأكثر عرضة للإصابة فى الجسم. تؤدى الإصابة بهذا العصب إلى عرق النسا، وهو ألم حاد ينتقل من منطقة الأرداف على طول الجانب الخلفى للفخذ والساق حتى الكاحل. تسعون بالمئة من الحالات تنتج عن انزلاق غضروفى بين الفقرات أو التهاب المفاصل التنكسى فى العمود الفقرى السفلى، لكن عرق النسا يمكن أن ينجم أيضًا عن ضغط من رحم حامل، أو خلع فى الورك، أو حقن فى منطقة خاطئة من الأرداف، أو الجلوس لفترة طويلة على حافة كرسى صلب. يعانى بعض الأشخاص من عرق النسا بسبب عادة الجلوس على محفظة توضع فى جيب الورك.

13.2د التعصيب الجلدى والجلديات

كل عصب شوكى باستثناء C1 يستقبل مدخلات حسية من منطقة محددة من الجلد تسمى جلدية.[25] *خريطة الجلدية* (الشكل 13.22) هى مخطط للمناطق الجلدية التى يعصبها كل عصب شوكى. ومع ذلك، فإن هذه الخريطة مبسطة للغاية لأن الجلدية تتداخل عند حوافها بنسبة تصل إلى 50%. لذلك، قطع جذر عصب حسى واحد لا يؤدى إلى فقدان كامل للإحساس من الجلدية. من الضرورى قطع أو تخدير ثلاثة أعصاب شوكية متتالية لإحداث فقدان كامل للإحساس من جلدية واحدة. يتم تقييم تلف الأعصاب الشوكية عن طريق اختبار الجلديات باستخدام وخز الإبر وملاحظة المناطق التى لا يشعر فيها المريض بأى إحساس.



الشكل 13.22 خريطة الجلد لمنطقة الجهة الأمامية من الجسم. كل منطقة من الجلد تتلقى تعصيبًا من الفروع الحسية للأعصاب الشوكية المشار إليها بالعلامات. العصب C1 لا يعصب الجلد.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

6. ما المقصود بالجذور الأمامية والخلفية للعصب الشوكى؟ أيهما حسى وأيهما حركى؟
7. أين تقع أجسام الخلايا لعصب الجذر الخلفى؟ وأين تقع أجسام الخلايا لعصب الجذر الأمامى؟
8. عدد خمسة الضفائر العصبية الشوكية واذكر مكان وجود كل منها.
9. حدد أى ضفيرة تعطى كلًا من الأعصاب التالية: الإبطى (العصب الإبطى)، العانى الحرقفى (العصب العانى الحرقفى)، العصب الإعلاقى، العصب الحجابى، العصب العانى، العصب الكعبرى، والعصب الوركى.

[25] *الجلد* = الجلد؛ *الحزء* = مقطع، جزء

الانعكاسات الجسدية 13.3

نتائج التعلم المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. تعريف الانعكاس وشرح كيف تختلف الانعكاسات عن غيرها من الحركات الحركية؛

ب. وصف المكونات العامة لقوس الانعكاس النموذجي؛ و

ج. اشرح كيف تعمل الأنواع الأساسية للانعكاسات الجسدية.

لقد اختبر الكثير منا ردود أفعالنا بمطرقة مطاطية صغيرة؛ على سبيل المثال، يؤدي النقر أسفل الركبة إلى ركلة لا إرادية في الساق. يُعد اختبار الانعكاسات الجسدية ذا قيمة في تشخيص العديد من الأمراض التي تسبب تضخيمًا أو تثبيطًا أو غيابًا للانعكاسات — مثل الزهري العصبي وأمراض معدية أخرى، والاعتلال العصبي السكري، والتصلب المتعدد، والإدمان على الكحول، واضطرابات الهرمونات والإلكتروليتات، وآفات الجهاز العصبي.

في هذا القسم، نناقش ماهية الانعكاسات وكيف يتم إنتاجها بواسطة مجموعة من المستقبلات، والخلايا العصبية، والمنفذات. كما نستعرض الأنواع المختلفة من الانعكاسات العصبية العضلية وأهميتها في التنسيق الحركي لمهامنا اليومية.

13.3أ طبيعة الانعكاسات

الانعكاسات هي ردود فعل سريعة، لا إرادية، نمطية للغدد أو العضلات تجاه التحفيز. تلخص هذه التعريف أربع خصائص مهمة:

1. الانعكاسات تتطلب تحفيزًا — فهي ليست أفعالًا عفوية مثل التشنجات العضلية بل استجابات لمُدخلات حسية.

2. الانعكاسات سريعة — فهي عادةً ما تشمل عددًا قليلًا فقط من الخلايا العصبية البينية، أو لا تشملها على الإطلاق، مع أقل تأخير في المشابك العصبية.

3. المنعكسات هي *لا إرادية* — تحدث بدون قصد، وغالبًا بدون وعي منا، ومن الصعب كبحها. عند وجود منبه كافٍ، يكون الاستجابة في الأساس تلقائية. قد تصبح واعيًا بالمنبه الذي أثار رد الفعل، وقد تمكنك هذه الوعي من تصحيح أو تجنب موقف قد يكون خطيرًا، لكن الوعي ليس جزءًا من رد الفعل نفسه. قد يأتي بعد اكتمال رد الفعل، ويمكن أن تحدث ردود الفعل الجسدية حتى إذا تم قطع الحبل الشوكي بحيث لا تصل المنبهات إلى الدماغ.

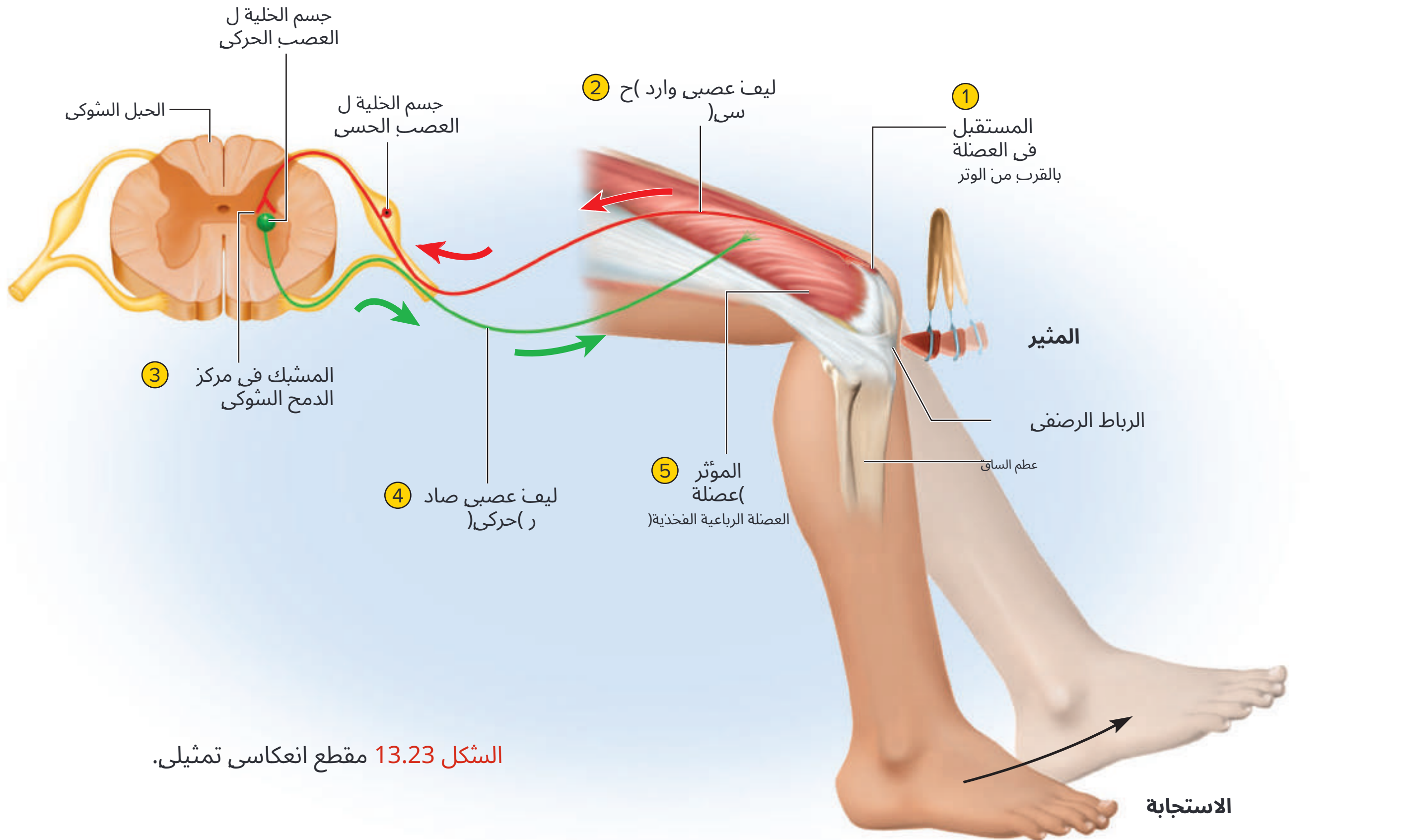
4. ردود الفعل هي *نمطية* — تحدث بنفس الطريقة في كل مرة؛ الاستجابة متوقعة جدًا، على عكس التغير في الحركة الإرادية.

تشمل ردود الفعل إفراز الغدد وانقباضات جميع أنواع العضلات الثلاثة. تسمى ردود فعل العضلات الهيكلية ردود الفعل الجسدية، لأنها تنطوي على الجهاز العصبي الجسدي. الفصل 15 يتعلق بـ *ردود الفعل الحشوية* للأعضاء مثل القلب والأمعاء. تقليديًا، كانت ردود الفعل الجسدية تُسمى *ردود الفعل الشوكية*، لكن هذا تعبير مضلل لسببين: (1) ردود الفعل الشوكية ليست حصرية للجسدية؛ فردود الفعل الحشوية تشمل أيضًا الحبل الشوكي. (2) بعض ردود الفعل الجسدية يتم تنظيمها أكثر بواسطة الدماغ منها بواسطة الحبل الشوكي.

يستخدم رد الفعل الجسدي قوس رد الفعل، حيث تنتقل الإشارات على طول المسار التالي (الشكل 13.23):

1 *مستقبلات حسية* في الجلد والعضلات والأوتار؛

2 *ألياف عصبية واردة* تحمل المعلومات من هذه المستقبلات إلى القرن الخلفي للحبل الشوكي أو إلى جذع الدماغ؛



الشكل 13.23 مقطع انعكاسي تمثيلي.

عادةً ما تتكون من سبعة أو ثمانية ألياف عضلية صغيرة معدلة محاطة بكبسولة ليفية ممدودة يبلغ طولها حوالى 5 إلى 10 مم)الشكل 13.24(. تتركز بشكل خاص عند نهايات العضلة، بالقرب من أوتارها. المغازل ا لعضلية هى من بين مستقبلات الجسم الذاتية)proprioceptors(، وهى أعضاء حسية متخصصة فى مراقبة وضعية وحركة أجزاء الجسم. وظيفة المغازل العضلية هى إبلاغ الدماغ بطول العضلة وحركات الج سم. هذا يمكن الدماغ من إرسال أوامر حركية إلى العضلات التى تتح كم فى توتر العضلات، والوضعية، والحركة المنسقة، وردود الفعل الت صحيحية)على سبيل المثال، للحفاظ على التوازن(. المغازل وفيرة ب شكل خاص فى العضلات التى تتطلب تحكمًا دقيقًا. تحتوى عضلات اليد والقدم على 100 مغزل أو أكثر لكل غرام من العضلة، فى حين أن هناك عددًا أقل فى العضلات الكبيرة ذات الحركات الخشنة، ولا توجد على الإطلاق فى عضلات الأذن الوسطى.

3 مركز التكامل، نقطة اتصال تشابكية بين العصبونات فى المادة الرمادية للحبل الشوكى أو جذع الدماغ؛

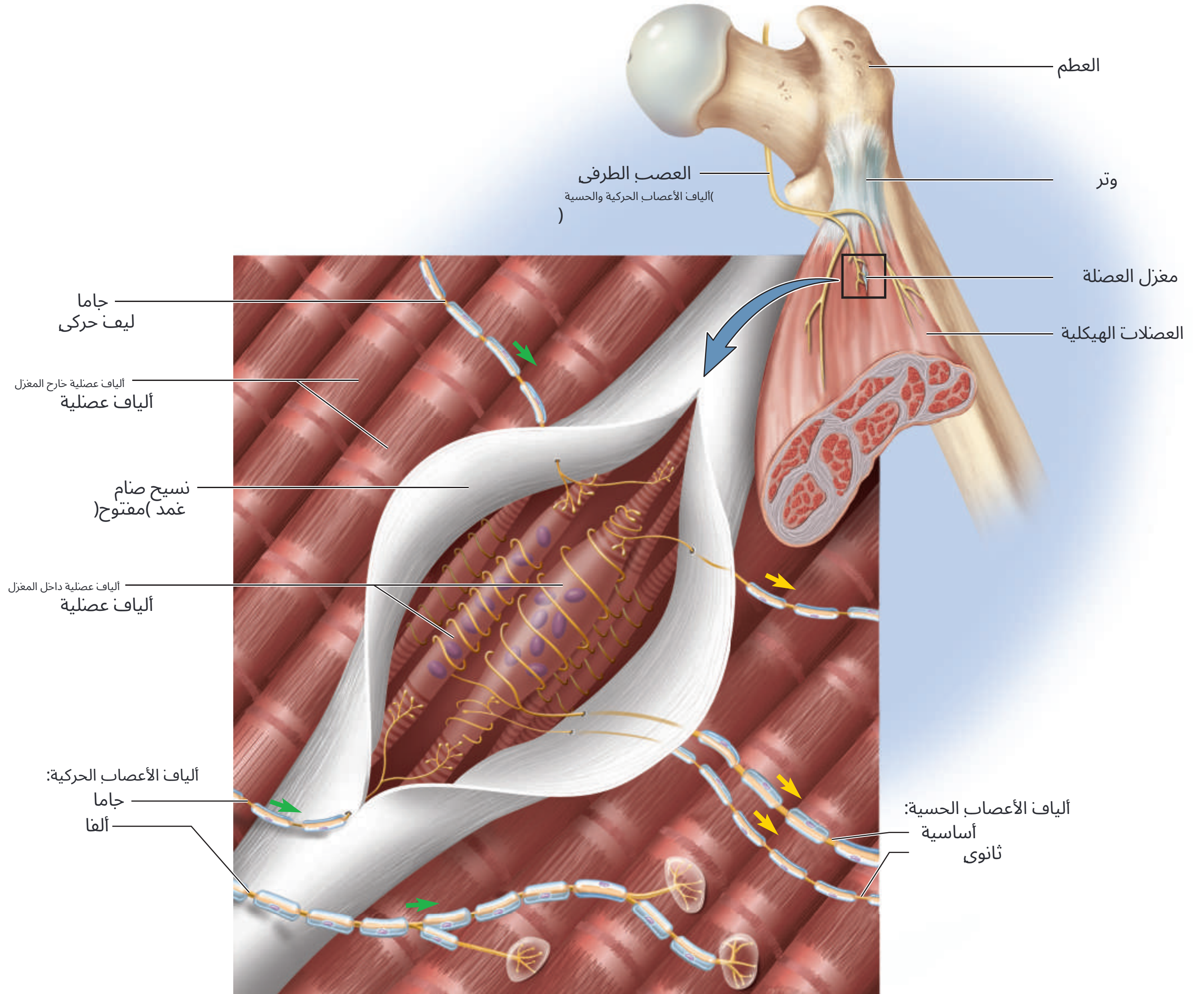
4 *الألياف العصبية الصادرة، التى تحمل النبضات الحركية إلى* العضلات؛ و

5 *المنفذات، العضلات التى تنفذ الاستجابة.*

فى معظم أقواس المنعكسات، يشمل مركز التكامل عصبونًا داخ ليًا واحدًا أوأكثر. تحدد الأحداث التشابكية فى مركز التكامل ما إذا كان ت العصبونات الصادرة تصدر إشارات إلى العضلات. كلما زاد عدد العصبونات الداخلية، زادت تعقيد معالجة المعلومات، و لكن مع المزيد من المشابك، يكون هناك تأخير أطول بين الإدخال وا لإخراج.

13.3ب المغزل العضلى

تشمل العديد من المنعكسات الجسدية مستقبلات التمدد المسماةا لمغازل العضليةالمتوضعة داخل العضلات. المغزل العضلى هو حزمة



الشكل 13.24 مغزل عضلى وتعصيباته.

الألياف العضلية المعدلة داخل المغزل تسمى الألياف داخل المغزل[26] بينما تلك التى تشكل بقية العضلة وتقوم بعملها تسمى الألياف خارج المغزل.)كن حذرًا حتى لا تخلط بين هذه المصطلحات والألياف العصبية.(يحتوى كل طرف من الألياف داخل المغزل على بعض الساركوميرات. يقوم العصبون الحركى جاما من الحبل الشوكى بتعصيب كل طرف ويحفز انقباضه. هذا يحافظ على توتر وحساسية الألياف داخل المغزل، مما يمنعها من الترهل مثل شريط مطاطى غير مشدود عندما تقصر العضلة. تسمى العصبونات الحركية الشوكية التى تغذى ألياف العضلات خارج المغزل العصبونات الحركية ألفا. حتى الآن، درسنا فقط هذا النوع والتشابكات العصبية العضلية التى يشكلونها مع العضلات، لكن ما يقرب من ثلث جميع العصبونات الحركية الشوكية هى من نوع جاما—دليل على الأهمية الكبيرة لمغازل العضلات.

الجزء الأوسط الطويل من الألياف داخل المغزل يفتقر إلى الساركوميرات ولا يمكنه الانقباض، لكنه مزود بنوعين من الألياف العصبية الحسية: *الألياف الحسية الأولية* التى تراقب طول العضلة ومدى سرعة تغيره، وبالتالى تكون شديدة الاستجابة للحركات المفاجئة للجسم؛ *والألياف الحسية الثانوية* التى تراقب الطول فقط، وليس معدل التغير. تدخل كلا النوعين من الألياف الحسية إلى القرن الخلفى للحبل الشوكى، وتتصل تشابكيًا بالعصبونات الحركية ألفا وتنظم إطلاقها، وترسل أيضًا فروعًا صاعدة إلى الدماغ عبر الحبل الشوكى. من خلال هذه الألياف العصبية، يراقب الدماغ باستمرار ولكن بشكل لا واعٍ طول وتوتر كل عضلة هيكلية تقريبًا فى الجسم. هذه المدخلات ضرورية للحفاظ على الوضعية، والتحكم الدقيق فى الحركات، وردود الفعل التصحيحية.

افترض، على سبيل المثال، أنك تقف على سطح قارب يهتز بلطف على الأمواج. فى لحظة ما، يبدأ جسمك بالانحناء إلى الأمام. هذا يمدد عضلات الساق ومغازل العضلات الخاصة بها، مما يطلق إشارات حسية إلى الحبل الشوكى. يستجيب الجهاز العصبى المركزى لذلك بشد عضلات الساق لمنعك من السقوط ولإعادة أو الحفاظ على وضعيتك المستقيمة. ثم يهتز القارب فى الاتجاه المعاكس وتبدأ بالانحناء إلى الخلف. تُضغط المغازل فى عضلات الساق الآن وينخفض معدل إشاراتها. مثل هذه المدخلات من المغازل تثبط العصبونات الحركية ألفا فى عضلات الساق، مما يؤدى إلى استرخاء تلك العضلات حتى لا تسحبك إلى الخلف أكثر. فى الوقت نفسه، يؤدى انحناؤك إلى الخلف إلى تمديد المغازل فى عضلات الساق والفخذ الأمامية، مما يؤدى إلى انقباضها ويمنعك من السقوط إلى الخلف.

يمكنك أن تتخيل جيدًا أهمية هذه الانعكاسات فى تنسيق الحركات الشائعة مثل المشى والرقص.
وبطرق أكثر دقة، يراقب دماغك طوال اليوم مدخلات المغازل فى العضلات المتقابلة ويجرى تعديلات دقيقة فى توتر العضلات للحفاظ على وضعيتك وتنسيقك.

13.3ح الانعكاس الانبساطى

عندما يتم شد عضلة فجأة، فإنها "تقاوم" — تنقبض، تزيد من توترها، وتشعر بأنها أكثر صلابة من العضلة غير المشدودة. هذا الاستجابة، التى تسمى الانعكاس الانبساطى)الميوتاتيكى([27]، تساعد فى الحفاظ على التوازن والوضعية، كما رأينا فى مثال القارب المتأرجح. لنأخذ حالة أخرى، إذا بدأ رأسك بالانحناء إلى الأمام، فإنه يشد عضلات الجزء الخلفى من رقبتك. هذا يحفز مغازل العضلات الخاصة بها، التى ترسل إشارات إلى المخيخ عبر جذع الدماغ.

[26] *intra*= داخل؛ *fus*= مغزل
[27] مَايو = عضلة؛ *تات*)من *تاسيس*(= تمدد

يُدمج المخيخ هذه المعلومات وينقلها إلى قشرة الدماغ، وترسل القشرة إشارات مرة أخرى، عبر جذع الدماغ، إلى العضلات. تنقبض العضلات وترفع رأسك. التعديلات المستمرة والدقيقة فى هذا القوس الانعكاسى تحافظ على رأسك فى وضع مستقيم بشكل عام طوال معظم ساعات اليقظة.

غالبًا ما تعود ردود فعل التمدد إلى مجموعة من العضلات المتآزرة والمتضادة، وليس إلى عضلة واحدة فقط. نظرًا لأن انقباض عضلة على جانب واحد من المفصل يمدد العضلة المضادة على الجانب الآخر، فإن ثنى المفصل يخلق رد فعل تمدد فى العضلات الباسطة، والتمديد يخلق رد فعل تمدد فى العضلات المثنية.)فكر فى الطريقة التى تم بها تمديد العضلة ذات الرأسين العضدية عند تمديد المرفق، على سبيل المثال.(ونتيجة لذلك، تعمل ردود فعل التمدد على تثبيت المفاصل من خلال موازنة توتر العضلات الباسطة والمثنية. كما أنها تخفف)تُنعّم(حركة العضلات. بدون ردود فعل التمدد، تميل حركات الشخص إلى أن تكون متقطعة. ردود فعل التمدد مهمة بشكل خاص فى تنسيق الحركات القوية والدقيقة مثل الرقص.

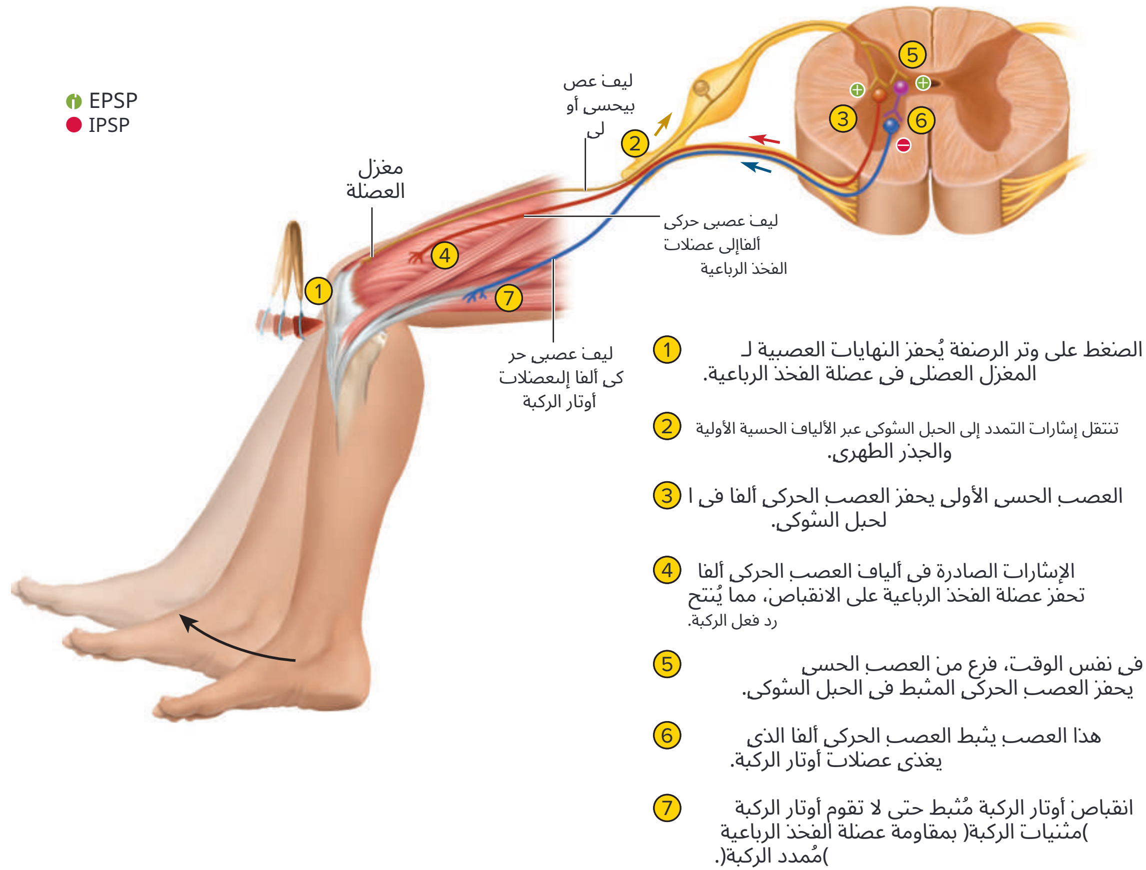
يتم التوسط فى رد فعل التمدد بشكل رئيسى بواسطة الدماغ، ولذلك فهو ليس انعكاسًا شوكيًا بحتًا، لكن هناك مكونًا ضعيفًا منه شوكى ويحدث حتى إذا تم قطع الحبل الشوكى عن الدماغ. يمكن أن يكون المكون الشوكى أكثر وضوحًا إذا تم تمديد العضلة فجأة. يحدث هذا فى الانقباض الانعكاسى للعضلة عندما يتم نقر وترها، كما فى رد فعل الرضفة)رد فعل الركبة(المعروف. نقر وتر الرضفة بمطرقة الانعكاس يمدد فجأة عضلة الفخذ الرباعية الرؤوس

)الشكل 13.25(. هذا يحفز العديد من المغازل العضلية فى عضلة الفخذ الرباعية ويرسل دفعة قوية من الإشارات إلى الحبل الشوكى، بشكل رئيسى عبر ألياف الأعصاب الحسية الأولية.
فى الحبل الشوكى، تتشابك هذه الألياف العصبية مباشرة مع الخلايا العصبية الحركية ألفا التى تعود إلى العضلة، مكونة بذلك أقواس انعكاسية أحادية التشابك. أى أن هناك تشابكًا واحدًا فقط بين العصب الحسى والعصب الحركى، لذا يكون التأخير التشابكى قليلًا والاستجابة سريعة جدًا. تحفز الخلايا العصبية الحركية ألفا عضلة الفخذ الرباعية، مما يجعلها تنقبض ويحدث رد فعل الركبة.
هناك العديد من ردود فعل الأوتار الأخرى. نقر وتر العرقوب يسبب انثناء القدم نحو الأسفل، ونقر وتر العضلة ثلاثية الرؤوس يسبب تمديد المرفق، ونقر وتر العضلة الماضغة يسبب قبض الفك.

تعتمد ردود فعل التمدد وانقباضات العضلات الأخرى غالبًا على التثبيط المتبادل، وهو انعكاس يمنع العضلات من العمل ضد بعضها البعض عن طريق تثبيط العضلات المضادة. فى رد فعل الركبة، على سبيل المثال، لن تنتج عضلة الفخذ الرباعية حركة كبيرة فى المفصل إذا انقبضت عضلات أوتار الركبة المضادة فى نفس الوقت. لكن التثبيط المتبادل يمنع حدوث ذلك. بعض فروع الألياف العصبية الحسية من مغازل عضلة الفخذ الرباعية تحفز الخلايا العصبية البينية الشوكية التى، بدورها، *تثبط* الخلايا العصبية الحركية ألفا لعضلات أوتار الركبة)الشكل 13.25(.
تبقى عضلات أوتار الركبة مسترخية وتسمح لعضلة الفخذ الرباعية بتمديد الركبة.

13.3د الانعكاس المثنى)الانسحابى(

الانعكاس المثنى هو الانقباض السريع لعضلات المثنية مما يؤدى إلى انسحاب طرف من منبه مؤذى. على سبيل المثال، افترض أنك تخطو فى بحيرة ووضعت قدمك اليمنى على زجاج مكسور)الشكل 13.26(. حتى قبل أن تكون واعيًا



الشكل 13.25 قوس رد فعل وتر الرضفة والتثبيط المتبادل للعضلة المضادة. تشير العلامات الزائدة إلى تحفيز خلية ما بعد المشبكي)EPSP(، وتشير العلامة السالبة إلى التثبيط)IPSP(. يحدث رد فعل الوتر في عضلة الفخذ الرباعية، بينما تُطهر عضلات أوتار الركبة تثبيطًا متبادلًا حتى لا تنقبض وتعارض عضلة الفخذ الرباعية.

لماذا لا يظهر IPSP عند النقطة 7 إذا كان انقباض هذه العضلة مُثبطًا؟

للحفاظ على توازنك، تقوم منعكسات أخرى بتحويل مركز ثقل جسمك فوق الساق التي لا تزال مثبتة على الأرض. منعكس التمديد المتقا طع هو انقباض عضلات الباسطة في الطرف المقابل للطرف الذي تم سحبه)الشكل 13.26(. يقوم بتمديد وتصلب ذلك الطرف ويمكنك م ن الحفاظ على توازنك. لإنتاج هذا المنعكس، تعبر فروع من الألياف ا لعصبية الواردة من الجانب المحفز للجسم إلى الجانب المقابل من ال حبل الشوكي. هناك، تتشابك مع الخلايا العصبية البينية التي بدورها تثير أو تثبط الخلايا العصبية الحركية ألفا للعضلات في الطرف المقا بل.

في الساق على نفس الجانب)الجانب المصاب(، ستقوم بانقبا ص العضلات المثنية واسترخاء العضلات الباسطة لرفع الساق عن الأ رض. على الجانب المقابل، ستسترخي العضلات المثنية وتنقبض الع ضلات الباسطة لتصلب تلك الساق، لأنها يجب أن تدعم فجأة وزن ج سمك بالكامل. في الوقت نفسه، تنتقل الإشارات صعودًا في الحبل ا لشوكي وتتسبب في انقباض عضلات الورك والبطن في الجانب الم قابل، مثل العضلات المائلة الداخلية والخارجية، لتحويل مركز ثقل ج سمك فوق الساق الممتدة. إلى حد كبير، يتم تنسيق كل هذه العضلا ت والحفاظ على التوازن بواسطة المخيخ والقشرة الدماغية.

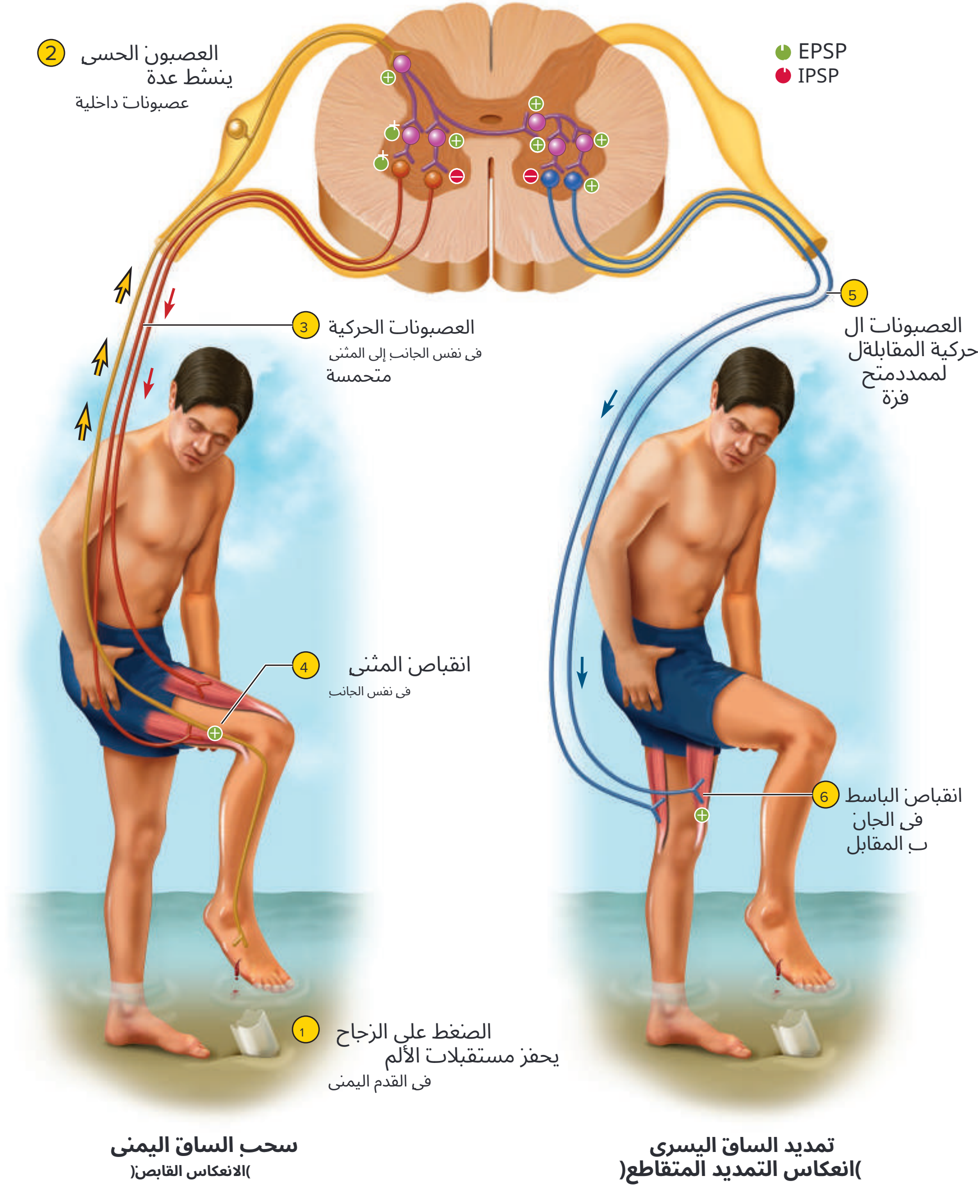
يعتمد رد الفعل المثني على قوس انعكاسي على نفس الجانب—حيث يكون الإدخال الحسي والإخراج الحركي على نفس جانب الحبل الشوكي.أما ر د الفعل التمديدي المتقاطع فيستخدم قوس انعكاسي على الجانب المقابل، حيث يكون الإدخال والإخراج على جانبي الحبل الشوكي المتقابلين.

مدركًا للألم، تسحب قدمك بسرعة بعيدًا قبل أن يخترق الزجاج أي عم ق أكبر. هذا الفعل يتضمن انقباض العضلات المثنية واسترخاء العض لات الباسطة في الطرف؛ الأخير هو حالة أخرى من التثبيط التبادلي.

تتطلب الوظيفة الوقائية لهذا المنعكس أكثر من مجرد ردة فعل سريعة مثل منعكس الوتر، لذا فهو يشمل مسارات عصبية أكثر تعقيدً ا. يتم إنتاج انقباض مستمر للعضلات المثنية بواسطة دائرة تفريغ م توازية في الحبل الشوكي)انظر الشكل 12.32(. هذه الدائرة هي جزء من قوس منعكس متعدد المشابك — وهو مسا ر تنتقل فيه الإشارات عبر العديد من المشابك في طريقها عائدًا إلى ا لعضلة. تتبع بعض الإشارات مسارات بها عدد قليل من المشابك وتع ود إلى العضلات المثنية بسرعة. تتبع أخرى مسارات بها المزيد من ال مشابك، وبالتالي تأخير أكبر، فتصل إلى العضلات المثنية بعد قليل. و نتيجة لذلك، تتلقى العضلات المثنية إخراجًا مطولًا من الحبل الشوكي وليس مجرد منبه مفاجئ كما في منعكس التمدد. وبحلول الوقت الذ ي تبدأ فيه هذه الإشارات الصادرة في التلاشي، ستكون على الأرجح م دركًا للألم وبدأت في اتخاذ إجراء إرادي لمنع المزيد من الضرر.

13.3هـ منعكس التمديد المتقاطع

في الحالة السابقة، إذا *كل* ما فعلته هو رفع الساق المصابة بسرعة م ن قاع البحيرة، فسوف تسقط. لمنع ذلك و



الشكل 13.26 انعكاسات المثنى والتمديد المتقاطع. يحفز المثير المؤلم انعكاس السحب، مما يؤدى إلى انقباض عضلات المثنى للطرف المصاب. فى الوقت نفسه، يؤدى انعكاس التمديد المتقاطع إلى انقباض عضلات الباسط للطرف المقابل. يساعد هذا الانعكاس الأخير فى الحفاظ على التوازن عندما يتم رفع الطرف المصاب. لاحظ أنه لكل طرف، بينما ينقبض العضلة الفاعلة، يتم تثبيط العصبون الحركى ألفا للعضلة المعاكسة، كما هو موضح بعلامات الطرح الحمراء فى الحبل الشوكى. APR

هل تتوقع أن يظهر هذا القوس الانعكاسى تأخيرًا تشابكيًا أكثر، أم أقل، مقارنةً بتلك الموجودة فى الشكل 13.25؟ ولماذا؟

13.3و منعكس الوتر

أعضاء الأوتار هى مستقبلات حسية تقع فى وتر بالقرب من التقاءه مع العضلة)الشكل 13.27(. يبلغ طول عضو الوتر حوالى 0.5 مم. يتكون من حزمة مغلفة من ألياف كولاجين صغيرة وفصفاصة وواحدة أو أكثر من الألياف العصبية التى تخترق الغلاف وتنتهى فى عمليات مسطحة تشبه الأوراق بين ألياف الكولاجين. طالما أن الوتر مرتخى، فإن ألياف الكولاجين تكون متفرقة قليلاً وتضغط ضغطًا خفيفًا على النهايات العصبية. عندما ينقبض العضل ويسحب الوتر، تتجمع ألياف الكولاجين مثل جانبى شريط مطاطى مشدود وتعصر النهايات العصبية

قوس المنعكس بين الفقرات هو الذى يحدث فيه الإدخال والإخراج فى مستويات)فقرات(مختلفة من الحبل الشوكى — على سبيل المثال، عندما يسبب الألم فى القدم انقباضات فى عضلات البطن والورك فى الجزء العلوى من الجسم. لاحظ أن جميع هذه الأقواس الانعكاسية يمكن أن تعمل فى نفس الوقت لإنتاج استجابة وقائية منسقة تجاه الألم.

طبق ما تعرفه

تم وصف المعالجة التسلسلية والمتوازية فى القسم 12.6د. أى منهما تعتقد أنه يصف بشكل أفضل المنعكس الانعكاسى، المنعكس المثنى، ومنعكس التمدد المتقاطع؟ اشرح.

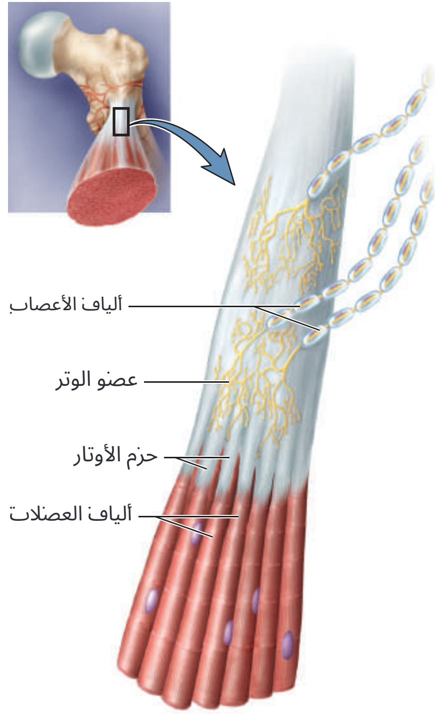
هذا يخفف من تقلص العضلة قبل أن يتمزق الوتر أو ينفصل عن العضلة أو العظم.
ومع ذلك، قد تتلف الأوتار أحيانًا بسبب العضلات القوية والحركات السريعة قبل حدوث المنعكس، مما يسبب إصابات رياضية مثل تمزق وتر العرقوب.
يعمل المنعكس الوترى أيضًا عندما تنقبض بعض أجزاء العضلة أكثر من غيرها. يقوم بتثبيط ألياف العضلات المرتبطة بأعضاء الأوتار التى تتعرض لتحفيز مفرط بحيث يصبح تقلصها أكثر توازنًا مع تقلص بقية العضلة.
هذا يوزع عبء العمل بشكل أكثر توازنًا على كامل العضلة، وهذا مفيد فى أفعال مثل الحفاظ على قبضة ثابتة على أداة أو درجة سلم.

الجدول 13.7 والنظرة الأعمق 13.5 يصفان بعض الإصابات والاضطرابات الأخرى للحبل الشوكى والأعصاب الشوكية.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

10. اذكر خمسة مكونات هيكلية لقوس الانعكاس الجسدى النموذجى. أى من هذه المكونات غائب فى القوس أحادى المشبك؟
11. حدد وظيفة كل من الأجزاء التالية فى المغزل العضلى: الألياف داخل المغزل، الخلايا العصبية الحركية جاما، والألياف الحسية الأولية.
12. اشرح كيف تستشعر الألياف العصبية فى الوتر درجة التوتر فى العضلة.
13. لماذا يجب أن يشمل انعكاس السحب، وليس انعكاس التمدد، قوس انعكاس متعدد المشابك؟
14. اشرح لماذا يجب أن يصاحب انعكاس التمديد المتقاطع انعكاس السحب فى الساق.



الشكل 13.27 عضو وتر.

بينهما. ترسل الألياف العصبية إشارات إلى الحبل الشوكى توفر للجهاز العصبى المركزى تغذية راجعة حول درجة توتر العضلة عند المفصل.
الرد الوترى هو استجابة للتوتر المفرط على الوتر. يقوم بتثبيط الخلايا العصبية الحركية ألفا للعضلة بحيث لا تتقلص العضلة بقوة كبيرة.

الجدول 13.7	بعض اضطرابات الحبل الشوكى والأعصاب الشوكية
متلازمة غيلان-باريه (جى-لان با-راى)	اضطراب عصبى حاد مزيل للميالين غالبًا ما يُحفز بواسطة عدوى فيروسية، يؤدى إلى ضعف العضلات، ارتفاع معدل ضربات القلب، عدم استقرار ضغط الدم، ضيق فى التنفس، وأحيانًا الوفاة بسبب شلل التنفس
ألم عصبى	مصطلح عام لألم الأعصاب، غالبًا ما يكون ناتجًا عن ضغط على الأعصاب الشوكية بسبب انزلاق غضروفى بين الفقرات
تنميل	أحاسيس غير طبيعية مثل الوخز، الحرقان، الخدر، أو التنميل فى غياب التحفيز الفعلى؛ وهو عرض من أعراض اضطرابات الأعصاب الطرفية
اعتلال الأعصاب الطرفية	أى فقدان فى الوظيفة الحسية أو الحركية بسبب إصابة فى العصب؛ يُسمى أيضًا شلل العصب *nerve palsy*
داء الكلب (رهاب الماء)	مرض يُصاب به عادةً من لدغات الحيوانات، ويتضمن عدوى فيروسية تنتشر عبر ألياف الأعصاب الحركية الحسدية إلى الجهاز العصبى المركزى ثم عبر الألياف العصبية الذاتية؛ يؤدى إلى نوبات صرع، غيبوبة، والموت؛ يكون قاتلًا دائمًا إذا لم يُعالج قبل ظهور أعراض الجهاز العصبى المركزى
التهاب السحايا الشوكى	التهاب فى سحايا الحبل الشوكى بسبب عدوى فيروسية أو بكتيرية أو غيرها
يمكنك العثور على اضطرابات أخرى فى الحبل الشوكى والأعصاب الطرفية موصوفة فى الأماكن التالية:	
متلازمة النفق الرسغى فى نظرة أعمق 10.5؛ التصلب المتعدد و مرض تاى-ساكس فى نظرة أعمق 12.2؛ شلل الأطفال و التصلب الجانبى الضمورى فى نظرة أعمق 13.2؛ القوباء فى نظرة أعمق 13.3؛ شلل العكاز و عرق النسا فى نظرة أعمق 13.4؛ إصابات الحبل الشوكى وأشكال الشلل فى نظرة أعمق 13.5؛ الجذام و الاعتلال العصبى السكرى فى القسم 16.2د، والأخير أيضًا فى القسم 17.7هـ.	



نظرة أعمق 13.5

التطبيق السريري

إصابات الحبل الشوكي

في الولايات المتحدة، يُصاب حوالي 18000 شخص بالشلل الجديد سنويًا نتيجة إصابات الحبل الشوكي، عادةً بسبب كسور الفقرات.
أعلى نسبة إصابة تكون بين الذكور فوق سن الأربعين، عادةً بسبب السلوكيات عالية الخطورة. ما يقرب من ثلاثة أرباع الحالات ناتجة عن حوادث المركبات والسقوط. كما أن كبار السن معرضون لخطر أعلى من المتوسط بسبب السقوط، وفي أوقات الحرب، تشكل إصابات ساحات القتال العديد من الحالات.

تأثيرات الإصابة

القطع الكامل)القطع(للحبل الشوكي يسبب فقدانًا فوريًا للتحكم الحركي عند مستوى الإصابة وأسفله. القطع فوق المقطع C4 يشكل تهديدًا لفشل التنفس. يفقد المصابون أيضًا الإحساس من مستوى الإصابة وأسفله، على الرغم من أن بعض المرضى يشعرون مؤقتًا بألم حارق ضمن منطقة جلدية أو اثنتين حول مستوى الإصابة.

في المرحلة المبكرة، يظهر على المصابين متلازمة تُسمى صدمة الحبل الشوكي . تعاني العضلات أسفل مستوى الإصابة من شلل رخوي)عدم القدرة على الانقباض (وغياب المنعكسات بسبب نقص التحفيز من المستويات العليا للجهاز العصبي المركزي. لمدة تتراوح من 8 أيام إلى 8 أسابيع بعد الحادث، عادةً ما يفتقر المصاب إلى منعكسات المثانة والأمعاء وبالتالي يحتفظ بالبول والبراز. وبسبب نقص التحفيز الودي للأوعية الدموية، قد يظهر على الشخص صدمة عصبية حيث تتوسع الأوعية وينخفض ضغط الدم إلى مستويات خطيرة. قد تحدث حمى لأن الوطاء لا يستطيع تحفيز التعرق لتبريد الجسم. يمكن أن تستمر صدمة الحبل الشوكي من عدة أيام إلى عدة أسابيع)عادة من 7 إلى 20 يومًا(.

مع تراجع صدمة الحبل الشوكي، تبدأ المنعكسات الجسدية بالظهور مجددًا، أولًا في أصابع القدم ثم تتقدم إلى القدمين والساقين. كما تعود المنعكسات الذاتية. على عكس احتباس البول والبراز السابق، تظهر الآن المشكلة المعاكسة، وهي السلس، حيث يفرغ المستقيم والمثانة تلقائيًا استجابة للتمدد. عادةً ما يظهر كل من الجهاز العصبي الجسدي والذاتي منعكسات مفرطة، وهي حالة تُسمى فرط المنعكسات أو رد الفعل الانعكاسي الجماعي. يمكن لمحفزات مثل المثانة الممتلئة أو اللمس الجلدي أن تثير رد فعل قلبي وعائي شديد. يرتفع ضغط الدم الانقباضي، الذي يكون عادة حوالي 120 ملم زئبق، إلى 300 ملم زئبق أو أكثر. هذا يسبب صداعًا شديدًا وأحيانًا سكتة دماغية.

تستشعر مستقبلات الضغط في الشرايين الرئيسية هذا الارتفاع في ضغط الدم وتنشط رد فعل منعكس يبطئ القلب، أحيانًا إلى معدل منخفض يصل إلى 30 أو 40 نبضة في الدقيقة)بطء القلب(، مقارنة بالمعدل الطبيعي الذي يتراوح بين 70 إلى 80. قد يعاني الشخص أيضًا من تعرق غزير وتشوش في الرؤية.
يفقد الذكور في البداية القدرة على الانتصاب والقذف. قد يستعيدون هذه الوظائف لاحقًا ويصبحون قادرين على القذف وإنجاب الأطفال، ولكن بدون الإحساس الجنسي. أما في الإناث، فقد تصبح الدورة الشهرية غير منتظمة أو تتوقف.

أكثر الأضرار الدائمة خطورة الناتجة عن إصابة الحبل الشوكي هو الشلل.
يتحول الشلل الرخو الناتج عن صدمة الحبل الشوكي لاحقًا إلى شلل تشنجي مع استعادة المنعكسات الشوكية ولكن بدون السيطرة المثبطة من الدماغ. يبدأ الشلل التشنجي عادةً بانثناء مزمن في الوركين والركبتين)تشنجات الانثناء(ويتقدم إلى حالة تصبح فيها الأطراف مستقيمة وصلبة)تشنجات البسط(. هناك ثلاثة أشكال من شلل العضلات: الشلل النصفي السفلي)بارابليجيا(، وهو شلل في كلا الطرفين السفليين ناتج عن إصابات الحبل الشوكي في المستويات من T1 إلى L1؛ الشلل الرباعي)كوادرابليجيا(، وهو شلل في الأطراف الأربعة ناتج عن إصابات فوق المستوى C5؛ و الشلل النصفي)هيميبليجيا(، وهو شلل في جانب واحد من الجسم، وعادةً لا ينتج عن إصابات الحبل الشوكي بل عن سكتة دماغية أو إصابة دماغية أخرى. يمكن لإصابات الحبل الشوكي من C5 إلى C7 أن تُحدث حالة من الشلل الرباعي الجزئي — شلل كامل في الأطراف السفلية و ضعف جزئي (paresis) في الأطراف العلوية.

التسبب المرضي

تنتج إصابة الحبل الشوكي مرحلتين من تدمير الأنسجة. الأولى فورية — تدمير الخلايا بفعل الحدث الصدمي نفسه.
المرحلة الثانية، وهي موجة من موت الأنسجة عن طريق التنخر)النيكروز(والبرمجة الخلوية للموت)الأبوتوز(، تبدأ خلال دقائق وتستمر لأيام. وهي أكثر تدميرًا بكثير من الإصابة الأولية، حيث تحوّل عادةً الآفة في مقطع واحد من الحبل الشوكي إلى آفة تمتد عبر أربعة أو خمسة مقاطع، اثنان فوق واثنان تحت الموقع الأصلي.

تظهر نزوف مجهرية في المادة الرمادية والأم الحنون خلال دقائق وتتوسع خلال الساعتين التاليتين. تصبح المادة البيضاء منتفخة)وذمية(. تنتشر النزوف والوذمة إلى المقاطع المجاورة من الحبل وقد تؤثر بشكل قاتل على التنفس أو وظيفة جذع الدماغ عند حدوثها في المنطقة العنقية. نقص التروية)الإسكيما(، وهو نقص الدم، يؤدي بسرعة إلى التنخر. تستعيد المادة البيضاء الدورة الدموية خلال حوالي 24 ساعة، لكن المادة الرمادية تبقى ناقصة التروية. تخترق الخلايا الالتهابية)الكريات البيضاء والبلعميات(الآفة مع استعادة الدورة الدموية، وبينما تقوم بتنظيف الأنسجة المتنخرة، فإنها تساهم أيضًا في الضرر عن طريق إطلاق جذور حرة مدمرة ومواد كيميائية سامة أخرى. يزداد التنخر سوءًا، ويرافقه شكل آخر من موت الخلايا، وهو الأبوتوز. يؤدي موت الخلايا الدبقية قليلة التغصن في الحبل الشوكي، وهي الخلايا الدبقية المغلفة للمحاور العصبية في الجهاز العصبي المركزي، إلى إزالة الميالين من ألياف الأعصاب الشوكية، تليها موت الخلايا العصبية.

في غضون 4 ساعات فقط، تستهلك هذه الموجة الثانية من التدمير، المسماة احتشاء ما بعد الصدمة حوالي 40% من مساحة المقطع العرضي للحبل الشوكي؛ وخلال 24 ساعة، تدمر 70%. تتحول ما يصل إلى خمسة مقاطع من الحبل إلى تجويف مملوء بالسائل، والذي يُستبدل بنسيج ندبي كولاجيني خلال الأسابيع الثلاثة إلى الأربعة التالية. هذا الندب هو أحد العوائق أمام تجديد الألياف العصبية المفقودة.

العلاج

الأولوية الأولى في علاج مريض إصابة العمود الفقري هي تثبيت العمود الفقري لمنع المزيد من الإصابات. قد يكون دعم التنفس أو دعم الحياة الآخر مطلوبًا أيضًا. الميثيل بريدنيزولون، وهو ستيرويد، يحسن التعافي بشكل كبير. عند إعطائه خلال 3 ساعات من الإصابة، يقلل من تلف أغشية الخلايا ويثبط الالتهاب والموت الخلوي المبرمج.
بعد تلبية هذه الاحتياجات الفورية، يكون تقويم)إصلاح(الكسور أمرًا مهمًا. إذا أظهرت فحوصات التصوير المقطعي المحوسب أو الرنين المغناطيسي وجود ضغط على الحبل الشوكي من خلال القناة الفقرية، فقد يتم إجراء استئصال الصفيحة الفقرية لتخفيف الضغط، حيث تُزال الصفائح الفقرية من المنطقة المتأثرة. لقد ساعد التصوير المقطعي المحوسب والرنين المغناطيسي كثيرًا في العقود الأخيرة في تقييم أضرار الفقرات والحبل الشوكي، وتوجيه العلاج الجراحي، وتحسين التعافي. العلاج الطبيعي مهم للحفاظ على وظيفة العضلات والمفاصل وكذلك لتعزيز التعافي النفسي للمريض.

استراتيجيات علاج إصابات الحبل الشوكي هي مجال نشط من أبحاث الطب المعاصر. من الاهتمامات الحالية استخدام مضادات الأكسدة لتقليل تلف الجذور الحرة، وزرع الخلايا الجذعية متعددة القدرات، والتي أظهرت تعافيًا ملحوظًا)ولكن غير كامل(من آفات الحبل الشوكي في الفئران. غالبًا ما تثير الدراسات الواعدة في الأدبيات العلمية ووسائل الإعلام آمال الجمهور، لكنها تُخيب بسبب عدم قدرة مختبرات أخرى على تكرار النتائج وتأكيدها.

دراسة دليل

قيّم نتائج تعلمك

لاختبار معرفتك، ناقش المواضيع التالية مع شريك دراسة أو كتابةً، ويفضل من الذاكرة.

13.1 الحبل الشوكى

1. وظائف الحبل الشوكى
2. المعالم الطمية التى تحدد مدى الحبل الشوكى البالغ، وما يشغل القناة الفقرية أسفل الحبل الشوكى
3. المناطق الأربعة للحبل الشوكى والأساس الذى تقوم عليه أسماؤها
4. ما يحدد قطعة واحدة من الحبل الشوكى
5. توسعتان فى الحبل الشوكى ولماذا يكون الحبل أعرض عند هذه النقاط
6. أسماء وهياكل الأغشية الشوكية الثلاث، من السطحية إلى العميقة، وعلاقات الفراغ فوق الجافية وتحت العنكبوتية مع الأغشية
7. نوعا الأربطة التى تنشأ من الأم الحنون؛ مكان وجودها والغرض الذى تخدمه
8. تنظيم المادة الرمادية والبيضاء فى الحبل الشوكى كما يُرى فى المقاطع العرضية للحبل؛ كيف تختلف المادة الرمادية والبيضاء فى التركيب؛ ولماذا تُسمى المادة *الرمادية* و *البيضاء* *المادة*
9. موقع القرون الخلفية والأمامية للمادة الرمادية؛ وأين توجد القرون الجانبية أيضًا، ووظائف الثلاثة جميعًا
10. الأساس التشريحى لتقسيم المادة البيضاء إلى ثلاثة funiculi على كل جانب من الحبل، ولتقسيم كل funiculus إلى مسارات
11. أسماء ووظائف المسارات الصاعدة فى الحبل الشوكى
12. معانى الخلايا العصبية من *الدرجة الأولى* إلى *الدرجة الثالثة* فى المسار الصاعد
13. أسماء ووظائف المسارات النازلة
14. مواقع وتمييزات الخلايا العصبية الحركية العلوية والسفلية فى المسارات النازلة
15. التقاطع العصبى وتأثيراته على وظيفة الدماغ فيما يتعلق بالإحساس والتحكم الحركى فى الجزء السفلى من الجسم، وتأثيرات السكتة الدماغية
16. ماذا يعنى القول بأن أصل ومسار حزمة عصبية، أو أى جزأين من الجسم، هما من نفس الجانب)إيبسيلاترال(أو من الجانب المقابل)كونترلاتيرال(

13.2 الأعصاب الشوكية

1. تركيب العصب، وخاصة العلاقة بين الإندونوريوم، البيرينوريوم، والإبينوريوم مع ألياف العصب والحزم العصبية
2. الأساس فى تصنيف ألياف العصب إلى ألياف واردة أو صادرة، جسدية أو حشوية، وخاصة أو عامة
3. الأساس فى تصنيف الأعصاب بأكملها إلى أعصاب حسية، حركية، أو مختلطة
4. تعريف وتركيب العقدة العصبية)ganglion(
5. عدد الأعصاب الشوكية وعلاقتها بالحبل الشوكى والثقوب بين الفقرات
6. تشريح الجذور الخلفية والأمامية للعصب الشوكى؛ الجذيرات؛ والعقدة الجذرية الخلفية
7. تشريح الفرع الأمامى، الفرع الخلفى، والفرع السحائى للعصب الشوكى
8. ما ينشأ من الفرع الأمامى فى المنطقة الصدرية مقارنة بجميع المناطق الأخرى من الحبل الشوكى
9. التركيب العام لضفيرة الأعصاب الشوكية وأسماء ومواقع الضفائر الخمسة
10. التمييز بين الجذور، الجذوع، الأقسام الأمامية والخلفية، والحبال فى ضفيرة الأعصاب الشوكية؛ وأى من هذه الميزات الخمسة توجد فى كل من الضفائر الخمسة
11. الأعصاب التى تنشأ من كل ضفيرة والمناطق أو الهياكل الجسدية التى توفر لها كل عصب تعصيبًا حسيًا، أو تعصيبًا حركيًا، أو كلاهما
12. الجلديات ولماذا هى ذات صلة بالتشخيص السريرى لاضطرابات الأعصاب

13.3 الانعكاسات الجسدية

1. الأربعة معايير المحددة للانعكاس؛ كيف تختلف الانعكاسات الجسدية عن الأنواع الأخرى؛ والخلل فى تسمية الانعكاسات الجسدية بالانعكاسات الشوكية
2. المسار ومكونات قوس الانعكاس الجسدى
3. دور المستقبلات الحسية الذاتية فى الانعكاسات الجسدية
4. هيكل ووظيفة المغازل العضلية
5. ردود الفعل الانعكاسية للتمدد؛ مثال أو أكثر؛ الغرض الذى تخدمه فى الوظيفة اليومية؛ آلية رد الفعل الانعكاسى للتمدد؛ وسبب تشريحى يجعل ردود الفعل الانعكاسية للتمدد غالبًا أسرع من أنواع أخرى من ردود الفعل الجسدية
6. التثبيط التبادلى ولماذا من المهم أن يصاحب غالبًا رد الفعل الانعكاسى للتمدد
7. ردود الفعل الانعكاسية للثنى؛ غرض شائع تخدمه؛ ولماذا من المفيد أن تستخدم ردود الفعل الانعكاسية للثنى أقواسًا انعكاسية متعددة المشابك
8. ردود الفعل الانعكاسية للتمدد المتقاطع ولماذا من المهم أن يصاحب هذا النوع من الردود الانعكاسية رد فعل الانسحاب
9. هيكل وموقع ووظيفة عضو الوتر

دليل الدراسة

اختبار استرجاعك

الإجابات فى الملحق أ

1. أسفل الفقرة L2، يشغل القناة الفقرية حزمة من جذور الأعصاب الشوكية تسمى
أ. الوتر النهائى.
ب. الحُزَم النازلة.
ج. الحزمة الرقيقة (الحزمة الرشيقة).
د. المخروط النخاعى.
هـ. ذيل الفرس (cauda equina).

2. يُعطى الضفيرة العضدية جميع الأعصاب التالية باستثناء
أ. العصب الإبطى.
ب. العصب الكعبرى.
ج. العصب المُغلق.
د. العصب المتوسط.
هـ. العصب الزندى.

3. ألياف الأعصاب التى تضبط التوتر فى مغزل العضلة تُسمى
أ. الألياف داخل المغزل.
ب. الألياف خارج المغزل.
ج. الخلايا العصبية الحركية ألفا.
د. الخلايا العصبية الحركية جاما.
هـ. الألياف الحسية الأولية.

4. يتطلب رد الفعل الانعكاسى للتمدد عمل ______ لمنع العضلة المعاكسة من التدخل مع العضلة الفاعلة.
أ. الخلايا العصبية الحركية جاما
ب. رد فعل الانسحاب
ج. رد فعل التمديد المتقاطع
د. التثبيط المتبادل
هـ. رد فعل الجانب المقابل

5. لدى المريض جرح طلق نارى تسبب فى تمزق قطعة عطمية فى الحبل الشوكى. الآن لا يشعر المريض بأى ألم أو إحساس بالحرارة من ذلك المستوى من الجسم وما دونه. تعرض للتلف ______ على الأرجح،
أ. الحزمة الرقيقة (الحزمة الرقيقة)
ب. اللمينسقوس الوسيط
ج. المسار التكتوسبينى
د. المسار الجانبى القشرى الشوكى
هـ. المسار الشوكى المهادى

6. أى من هذه ليست منطقة من الحبل الشوكى؟
أ. العنقى
ب. الصدرية
ج. الحوضى
د. القطنى
هـ. العصعصى

7. فى الحبل الشوكى، توجد أجسام الخلايا للعصبونات الحركية السفلية فى
أ. ذيل الفرس (cauda equina).
ب. القرون الخلفية.
ج. القرون الأمامية.
د. عقدة الجذر الخلفى.
هـ. الحزم العصبية.

8. الغلاف النسيجى الخارجى العصبى يُسمى
أ. الإبينوريم.
ب. البيرينوريم.
ج. الإندونوريم.
د. الأم العنكبوتية.
هـ. الأم الجافية.

9. الأعصاب بين الأضلاع تنشأ من أى ضفيرة عصبية شوكية؟
أ. العنقى
ب. العضدية
ج. القطنى
د. العصعصى
هـ. لا أحد منهم

10. جميع المنعكسات الجسدية تشترك فى جميع الخصائص التالية *ما عدا*
أ. هى سريعة.
ب. هى أحادية المشبك.
ج. تتطلب تحفيزًا.
د. هى لا إرادية.
هـ. هى نمطية.

11. خارج الجهاز العصبى المركزى، تتجمع أجسام الخلايا العصبية فى انتفاخات تسمى ______.

12. بعيدًا عن الثقبة بين الفقرات، يتفرع العصب الشوكى إلى فرعين أمامى وخلفى ______.

13. يستقبل المخيخ ردود الفعل من العضلات والمفاصل عبر ______ مسارات الحبل الشوكى.

14. الانعكاس، يصاحب انقباض عضلات الثنى ______ فى أحد الأطراف انقباض عضلات البسط فى الطرف المقابل.

15. الألياف العضلية المعدلة التى تخدم بشكل أساسى للكشف عن التمدد تُسمى ______.

16. الأعصاب تنشأ من الضفيرة العنقية ______ الأعصاب تنشأ من الضفيرة العنقية وتعصب الحجاب الحاجز.

17. عبور ليف عصبى أو مسار من الجانب الأيمن للجهاز العصبى المركزى إلى الجانب الأيسر، أو العكس، يسمى ______.

18. الوعى غير البصرى بموقع الجسم وحركاته يسمى ______.

19. الأعصاب تنشأ من الضفيرة العنقية ______ العقدة تحتوى على الخلية أجسام الخلايا العصبية التى تحمل الإشارات الحسية إلى الحبل الشوكى.

20. العصب الوركى هو مزيج من عصبين: ال ______ و ______.

بناء مفرداتك الطبية

الإجابات فى الملحق أ

اذكر معنى كل عنصر من عناصر الكلمة، وقدم مصطلحًا طبيًا من هذا الفصل يستخدمه أو تعديلًا طفيفًا له.

1. arachno-
2. caudo-
3. contra-
4. cune-
5. ipsi-
6. phreno-
7. pia
8. proprio-
9. ram-
10. tecto-

دراسة

دليل

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

الإجابات فى الملحق أ

اشرح بإيجاز لماذا كل من العبارات التالية خاطئة، أو أعد صياغتها لتصبح صحيحة.

1. الحزمة الرقيقة)الحزمة الرقيقة(هى مسار شوكى نازل.
2. ينتهى الحبل الشوكى البالغ فى القناة العجزية.
3. كل جذر عصبى شوكى متصل بقطعه الخاص من الحبل الشوكى.
4. بعض الأعصاب الشوكية حسية وأخرى حركية .
5. تلتصق الأم الجافية بإحكام بعطم القناة الفقرية.
6. القرون الأمامية والخلفية للحبل الشوكى تتكون من المادة البيضاء.
7. تحمل المسارات القشرية الشوكية إشارات حسية من الحبل الشوكى إلى القشرة الدماغية.
8. الجلديات هى مناطق غير متداخلة من الجلد تعصبها أعصاب شوكية مختلفة.
9. الانعكاسات الجسدية هى تلك التى لا تشمل الدماغ.
10. الأقواس الانعكاسية على نفس الجانب أحادية المشبك، بينما الأقواس على الجانب المقابل متعددة المشابك.

اختبار فهمك

1. تم طرح جيليان من على حصان. ضربت الأرض بذقنها، مما تسبب فى تمدد مفرط شديد للرقبة. قام فنيّو الطوارئ الطبية بتثبيت رقبتها بشكل صحيح ونقلوها إلى المستشفى، لكنها توفيت بعد ٥ دقائق من الوصول. أظهر التشريح وجود كسور متعددة فى الفقرات C1 وC6 وC7 وأضرار واسعة فى الحبل الشوكى. اشرح لماذا توفيت بدلاً من أن تُترك مشلولة رباعية الأطراف.
2. والاس هو ضحية حادث صيد. أصابت رصاصة عمودة الفقرى، وقطع شظايا العطام نصف الحبل الشوكى الأيسر فى الفقرات من T8 إلى T10. منذ الحادث، يعانى والاس من حالة تسمى *فقدان الإحساس المفصول*، حيث لا يشعر بأى إحساس باللمس العميق أو وضع الأطراف على *الجانب الأيسر* من جسده تحت مستوى الإصابة، ولا يشعر بأى إحساس بالألم أو الحرارة من *الجانب الأيمن* . اشرح أى مسار شوكى تأثر بالإصابة ولماذا هذه الخسائر الحسية على جانبى الجسم المتقابلين.
3. دخل أنتونى فى شجار بين عصابات متنافسة. عندما اقترب منه مهاجم بسكين، استدار للهرب، لكنه تعثر. طعن المهاجم الجانب الداخلى من طية الأرداف اليمنى وانهار أنتونى. فقد كل استخدام للطرف الأيمن، غير قادر على تمديد الورك، ثنى الركبة، أو تحريك القدم. لم يستعد هذه الوظائف المفقودة بالكامل أبدًا. اشرح ما هو الضرر العصبى الذى من المرجح أن يكون أصابه أنتونى.
4. قف بكتفك الأيمن وركك وقدميك مستندًا بقوة على الحائط. ارفع قدمك اليسرى عن الأرض دون أن تفقد الاتصال بالحائط فى أى نقطة. ماذا يحدث؟ ولماذا؟ ما هو المبدأ الذى يوضحه هذا الفصل؟
5. عندما يحتاج المريض إلى ترقيع وتر، يستخدم الجراحون أحيانًا وتر العضلة الكفّية الطويلة، وهى عضلة فى الساعد يمكن الاستغناء عنها نسبيًا. يقع العصب المتوسط بالقرب منها ويشبه هذا الوتر كثيرًا. حدثت حالات أزال فيها الجراح جزءًا من هذا العصب عن طريق الخطأ بدلاً من الوتر. ما التأثيرات التى تعتقد أن مثل هذا الخطأ قد يسببها للمريض؟

الفصل

14

الدماغ و الأعصاب القحفية



صورة قياس الانتشار لألياف المادة البيضاء في منظر جانبي للدماغ
باسيكا/مصدر علمي

رؤى أعمق

14.1التطبيق السريري: التهاب السحايا

14.2 التطبيق السريري: السكتة الدماغية

14.3التطبيق السريري: تتبع مسارات المادة البيضاء

14.4التطبيق السريري: بعض اضطرابات الأعصاب القحفية

14.5التطبيق السريري: صور العقل

مخطط الفصل

Anatomy & Physiology Revealed 4.0
الوحدة 7: الجهاز العصبي

نظرة عامة على الدماغ 14.1

نتائج التعلم المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف التقسيمات الرئيسية والمعالم التشريحية للدماغ؛

ب. وصف مواقع المادة الرمادية والمادة البيضاء فيه؛ و

ج. وصف التطور الجنيني للجهاز العصبي المركزي وربطه بتشريح الدماغ البالغ.

فى تطور الجهاز العصبي المركزى من أبسط الفقاريات إلى الإنسان، تغير الحبل الشوكى قليلاً جداً بينما تغير الدماغ كثيراً. فى الأسماك والبرمائيات، يزن الدماغ تقريباً نفس وزن الحبل الشوكى، لكن فى الإنسان، يزن الدماغ ٥٥ ضعفاً. يبلغ متوسط وزنه حوالى ١٣٠٠ جرام (٩.٢ رطل) لدى الرجال و١٢٠٠ جرام لدى النساء، ويحتوى على ما يقدر بين ٥٧ إلى ١٢٥ مليار خلية عصبية. الفرق بين الجنسين يتناسب مع حجم الجسم وليس مع الذكاء. كان لدى شعب النياندرتال أدمغة أكبر من أدمغة البشر المعاصرين.

دماغنا هو الأكثر تطوراً مقارنة بالآخرين من حيث الوعى بالبيئة، و القدرة على التكيف مع التغيرات البيئية، والتنفيذ السريع للقرارات المعقدة، والتحكم الحركى الدقيق وحركة الجسم، والقدرة على التنبؤ والتخطيط للمستقبل، والتعقيد السلوكى. على مدار تطور الإنسان، أظهر الدماغ أكبر نمو فى المناطق المتعلقة بالرؤية، والذاكرة، والتفكير المجرد، والتحكم الحركى لليد القابضة.

14.1a المعالم الرئيسية

نبدأ بنظرة عامة على المعالم الرئيسية للدماغ. توفر هذه نقاط مرجعية مهمة للدراسة التفصيلية القادمة.

مصطلحان اتجاهيان يستخدمان فى وصف تشريح الجهاز العصبى المركزى هما روسترال و كاودال. روسترال[1] يعنى "نحو الأنف" و كاودال[2] يعنى "نحو الذيل". هذه أوصاف مناسبة لحيوان مثل الفأر المختبرى، الذى أجريت عليه الكثير من أبحاث الدماغ. تُحتفظ بهذه المصطلحات فى تشريح الأعصاب البشرى أيضاً، ولكن فى الإشارة إلى الدماغ، يعنى روسترال "نحو الجبهة" و كاودال "نحو الحبل الشوكى". فى الحبل الشوكى وجذع الدماغ، اللذين يتجهان عمودياً، يعنى روسترال "أعلى" و كاودال "أسفل".

يمكننا تقسيم الدماغ مفهوماً إلى ثلاثة أجزاء رئيسية—*الدماغ الأمامى*، *المخيخ*، و*جذع الدماغ*. الجزء الأكثر بروزاً من الدماغ الأمامى هو المخ (SER-eh-brum أو seh-REE-brum).
يشكل حوالى ٣٨٪ من حجم الدماغ ويتكون أساساً من زوج من أنصاف الكرات يُسمى نصفى الكرة المخية (الشكل 14.1أ).
كل نصف كرة يتميز بطيات سميكة تسمى التلافيف[3] (JY-rye؛ المفرد، *التلافيف*) مفصولة بأخاديد ضحلة تسمى الأخاديد[4] (SUL-sye؛

[1] روستا r = الأنف
[2] ذيل = tail
[3] التواء = turn, twist
[4] أخدود = furrow, groove

مراجعة

●● تشريح الدماغ والأعصاب القحفية يوصف فى العديد من النواحى بالنسبة للجمجمة. لذلك، قد يكون من المفيد مراجعة عظام الجمجمة والفوهات الرئيسية فى القسم 8.2a.

●● يجب أن تكون على دراية ببنية العصبون (انظر القسم 12.2c) وبالخلايا الدبقية ووظائفها (انظر القسم 12.3a).

●● يحتوى جذع الدماغ على امتدادات لمسارات الحبل الشوكى، لذا سيكون من المفيد أن تعرفها أو ترجع إلى الجدول 13.1 أثناء دراستك لجذع الدماغ.

●● سيتطلب فهم عدة جوانب من وظائف الدماغ والأعصاب القحفية معرفتك بالإحساس بالموضع (الإدراك الحسى الذاتى)، المعرف فى القسم 13.1e.

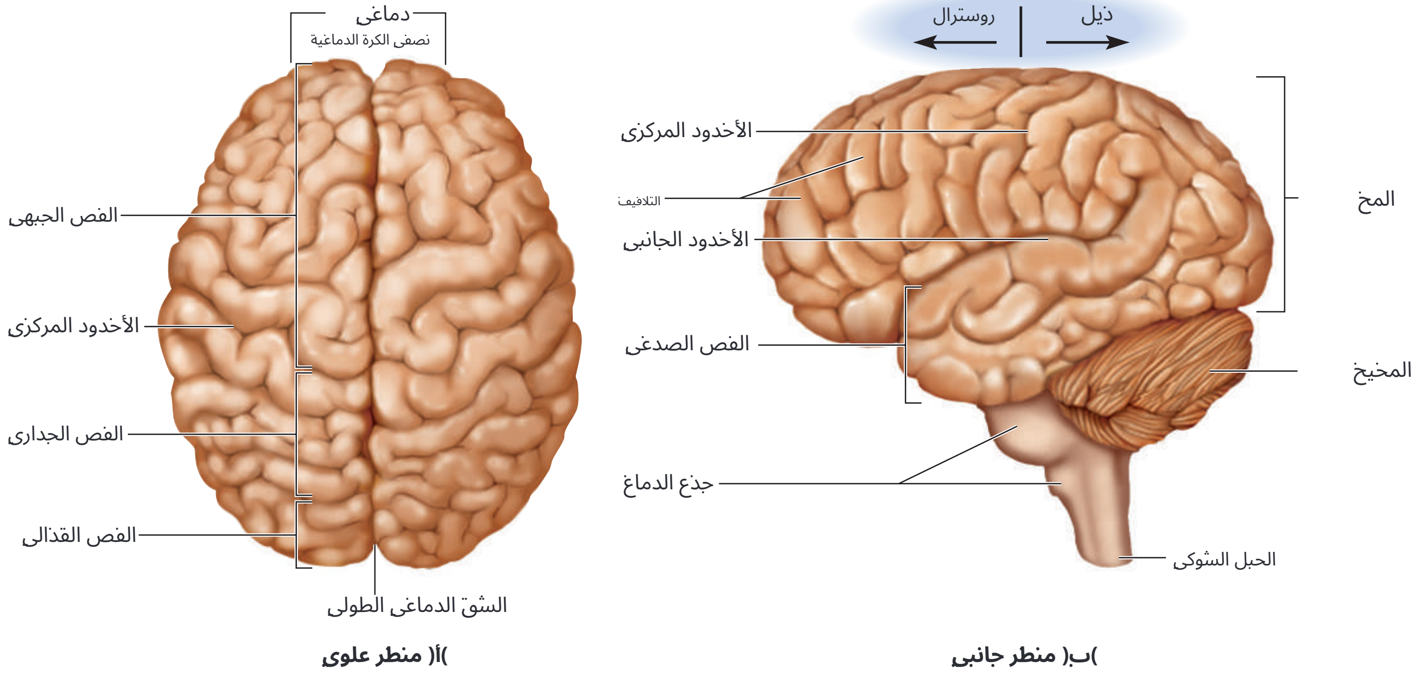
●● يعتمد فهم العلاقات الحسية والحركية بين الدماغ وأسفل الجسم، بما فى ذلك تأثيرات السكتة الدماغية، على فهمك لتقاطع المسارات العصبية (القسم 13.1e).

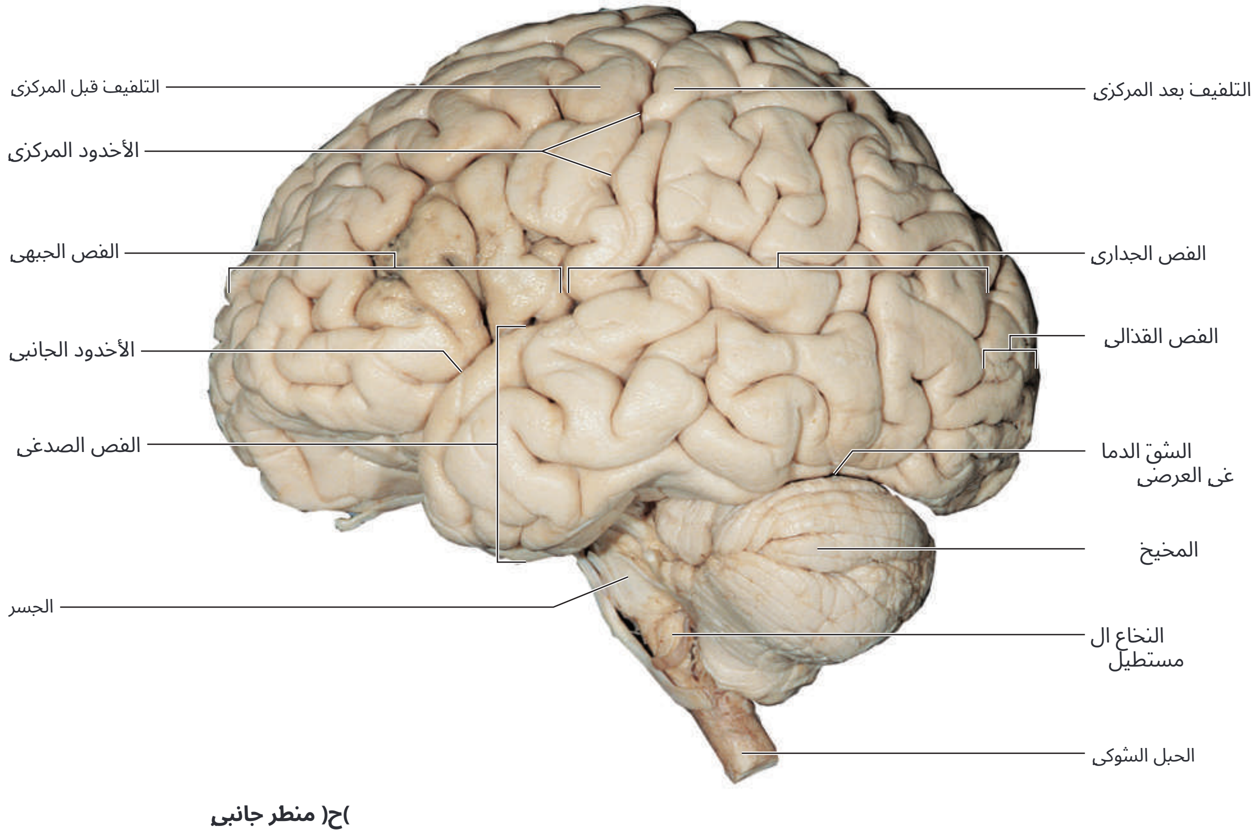
●● لفهم الأعصاب القحفية بشكل أفضل، يجب أن تكون على دراية بالتركيب العام للأعصاب والعقد العصبية، والألياف العصبية الواردة والصادرة، والتمييز بين الأعصاب الحسية، الحركية، والمختلطة (انظر القسم 13.2a).

يتمتع الدماغ البشرى برأى عالٍ عن نفسه، وغالبًا ما يدعى أنه أكثر الأجسام تعقيدًا فى الكون المعروف. سيكون من الصعب المجادلة فى خلاف ذلك. لديه غموض يثير اهتمام علماء الأحياء وعلماء النفس المعاصرين كما فعل مع فلاسفة العصور القديمة. اعتقد أرسطو أنه مجرد مبرد لتبريد الدم، لكن قبل أجيال، عبر أبقراط عن رؤية أكثر دقة. قال: "يجب على الناس أن يعرفوا أن من الدماغ، ومن الدماغ فقط، تنبع ملذاتنا، وفرحنا، وضحكنا ومزاحنا، وكذلك أحزاننا، وآلامنا، وحزننا ودموعنا. من خلاله، على وجه الخصوص، نفكر، ونرى، ونسمع، ونميز القبيح من الجميل، والسيء من الجيد، الممتع من غير الممتع."

ترتبط وظيفة الدماغ ارتباطًا وثيقًا بما يعنيه أن تكون حيًا وإنسانًا حتى أن توقف نشاط الدماغ يُعتبر معيارًا سريريًا للموت حتى عندما تستمر أعضاء الجسم الأخرى فى العمل. مع مئات المجمعات العصبية والتريليونات من المشابك العصبية، يقوم الدماغ بمهام معقدة تتجاوز فهمنا الحالى. ومع ذلك، كل وظائفنا العقلية، مهما كانت معقدة، تعتمد فى النهاية على الأنشطة الخلوية الموضحة فى الفصل 12. العلاقة بين العقل والشخصية والوظيفة الخلوية للدماغ هى مسألة ستوفر أرضًا خصبة للدراسة العلمية والنقاش الفلسفى لفترة طويلة فى المستقبل.

هذا الفصل هو دراسة للدماغ والأعصاب القحفية المتصلة به مباشرة. هنا سنغوص فى بعض أسرار التحكم الحركى، والإحساس، والعاطفة، والتفكير، واللغة، والشخصية، والذاكرة، والأحلام، والخطط. تملأ دوائر الدماغ وظائفه العديد من الكتب بحجم هذا الكتاب، ولا يمكننا إلا أن نخدش سطح هذا الموضوع المعقد هنا. ومع ذلك، ستوفر هذه التغطية بعض الرؤى المثيرة وتضع أساسًا لدراسة أعمق فى دورات أخرى.





الشكل 14.1 التشريح السطحى للدماغ.)أ(منظر علوى لنصفى الكرة الدماغية.)ب(منظر جانبى أيسر.)ح(منظر جانبى لدماغ الجثة.

APR

ح: مجموعة ريبيكا جراى/وايز للتشريح/ماكجرو هيل

بحلول اليوم 26، تخلق هذه العملية قناة مجوفة تُسمى الأنبوب الع
صبى. بعد الإغلاق، ينفصل الأنبوب العصبى عن الأديم الظاهر العلوى
، ويغوص أعمق قليلًا، وينمو منه عمليات جانبية تشكل لاحقًا ألياف ا
لأعصاب الحركية. يصبح تجويف الأنبوب العصبى مساحة مملوءة بال
سائل تشكل لاحقًا *القناة المركزية* للحبل الشوكى و *البطينات* فى الدم
اغ.

مع تطور الأنبوب العصبى، تنفصل بعض خلايا الأديم الظاهر التى
كانت تقع فى الأصل على هامش الأخدود عن الباقى وتشكل عمودًا
طوليًا على كل جانب يُسمى التاج العصبى. تعطى خلايا التاج العصبى
المنشأ للغشاءين الداخليين للدماغ)الأم العنكبوتية والأم الحنون(؛ ومع
طم الجهاز العصبى المحيطى، بما فى ذلك الأعصاب الحسية والأعصا
ب الذاتية والعقد العصبية وخلايا شوان؛ وبعض الهياكل الأخرى فى ا
لجهاز الهيكلى، والجهاز الجلدى، والجهاز الصماء.

بحلول الأسبوع الرابع، يظهر الأنبوب العصبى ثلاث توسعات أمام
ية، أو الحويصلات الأولية، تسمى الدماغ الأمامى)المخ[7] (PROSS-
en-SEF-uh-lon)، الدماغ المتوسط)الميسينسيفالون[8] (MES-en-
SEF-uh-lon)، و الدماغ الخلفى)الرومبينسيفالون[9] (ROM-ben-S
EF-uh-lon))الشكل 14.4(. وبحلول الأسبوع الخامس، ينقسم إلى
خمس حويصلات ثانوية. ينقسم الدماغ الأمامى إلى اثنتين منهما، ال
تيلينسيفالون[10] (TEL-en-SEFF-uh-lon) و الدياينسيفالون[11] (DY-en-
SEF-uh-lon)؛ يبقى الدماغ المتوسط غير مقسم ويحت
فظ باسم الميسينسيفالون؛ وينقسم الدماغ الخلفى إلى حويصلتين،
الميتينسيفالون[12] (MET-en-SEF-uh-lon) و المايلينسيفالون[13] (M
Y-el-en-SEF-uh-lon). يحتوى التيلينسيفالون على زو
ج من النتوءات الجانبية التى تصبح لاحقًا نصفى الكرة المخية. يصبح ا
لدياينسيفالون بشكل رئيسى المهاد و تحت المهاد، وله زوج من الن
توءات الجانبية على شكل كوب، وهى الحويصلات البصرية، التى تتح
ول إلى شبكية العين. ينشأ الميتينسيفالون إلى الجسر والمخيخ، وين
شأ المايلينسيفالون إلى النخاع المستطيل. الشكل 14.4 ملون ليوضح
أى مناطق الدماغ الناضجة تتطور من كل حويصلة.

ل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

1. أذكر الأجزاء الثلاثة الرئيسية للدماغ ووصف مواقعها.
2. عرف التلافيف و الأخاديد.
3. قارن بين تركيب ومواقع المادة الرمادية والمادة البيضاء فى الدماغ .
4. اشرح كيف تنشأ الحويصلات الدماغية الثانوية الخمس من الأنبوب ا
لعصبى.

التلم)مفرد، *sulcus*(، شق وسطى عميق، الشق الدماغى الطولى، ى
فصل بين نصفى الكرة المخية الأيمن والأيسر. فى قاع هذا الشق، تت
صل نصفى الكرة بواسطة حزمة سميكة من الألياف العصبية تُسمى ا
لجسم الثفنى[5]— وهو معلم بارز فى الوصف التشريحى له شكل مميز
على شكل C فى المقطع السهمى)الشكل 14.2(. جزء أصغر من الد
ماغ الأمامى يُسمى الدماغ البينى يقع تحت المخ فى الوسط.

المخيخ[6] (SER-eh-BEL-um) هو ثانى أكبر جزء فى الدما
غ. يشغل الحفرة القحفية الخلفية أسفل المخ، مفصولًا عنه بواسطة ا
لشق الدماغى العرضى)الشكل 14.1ب، ح؛ انظر أيضًا الشكل 8.9(.
كما يتميز بالمخاريط، والتلم، والتلافيف)تُسمى الأوراق فى المخيخ(.

جذع الدماغ هو كل الدماغ ما عدا الدماغ الأمامى والمخيخ. مكونا
ته، من الأمام إلى الخلف، هى الدماغ المتوسط، الجسر، و النخاع الم
ستطيل)الشكل 14.2(. فى الجزء الخلفى، ينتهى جذع الدماغ عند الث
قبة العظمى للجمجمة؛ ويستمر الجهاز العصبى المركزى أسفلها كالح
بل الشوكى. فى الشخص الحى، يكون جذع الدماغ موجهًا كعمود عمود
ى مع وجود الدماغ الأمامى فوقه مثل قبعة الفطر. التغيرات بعد الوفاة
تعطيه زاوية أكثر ميلًا فى الجثة، وبالتالى فى العديد من الرسوم الط
بية.

14.1b المادة الرمادية والبيضاء

الدماغ، مثل الحبل الشوكى، يتكون من المادة الرمادية والبيضاء)انظر
الأشكال 14.5، 14.6ح(. المادة الرمادية—مقر أجسام الخلايا العصبية
والتشعبات والمشابك—تشكل طبقة سطحية تُسمى القشرة فوق ا
لمخ والمخيخ، وكتلًا أعمق تُسمى النوى محاطة بالمادة البيضاء. فى
سياق التشريح العصبى، *النواة* تعنى تجمعًا أو شبكة من الخلايا الع
صبية مخصصة لوظيفة معينة، تتراوح من الجوع والسمع إلى العواط
ف والنوم. يمكن اعتبار النوى العصبية مماثلة للرقائق الدقيقة فى جها
ز إلكترونى معقد.

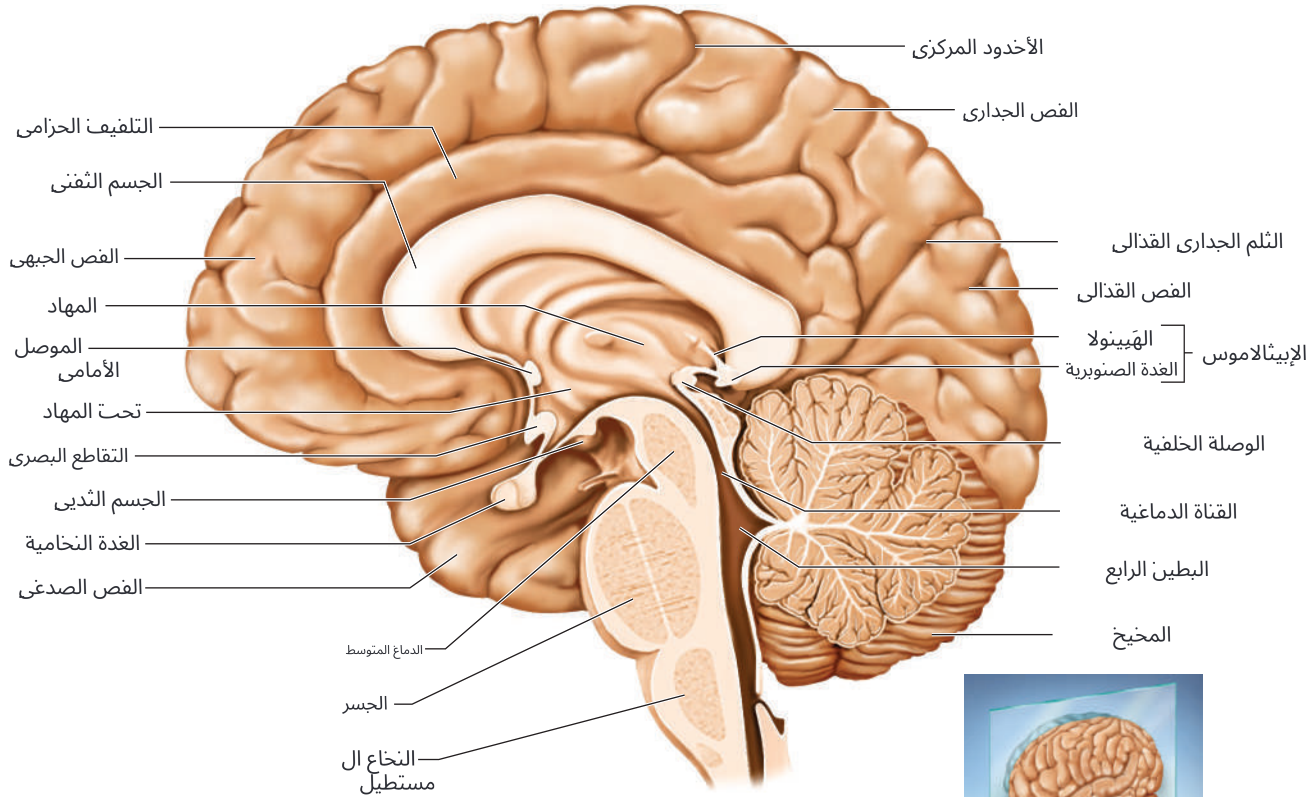
المادة البيضاء تقع أعمق من المادة الرمادية القشرية فى معظم أ
جزاء الدماغ، على عكس العلاقة بين المادة الرمادية والبيضاء فى الح
بل الشوكى. كما فى الحبل الشوكى، تتكون المادة البيضاء من المسار
ات، أو حزم من الألياف العصبية)المحاور العصبية(، التى تربط هنا جز
ءًا من الدماغ بآخر وبالحبل الشوكى. سيتم وصفها لاحقًا بمزيد من ال
تفصيل.

14.1c التطور الجنينى

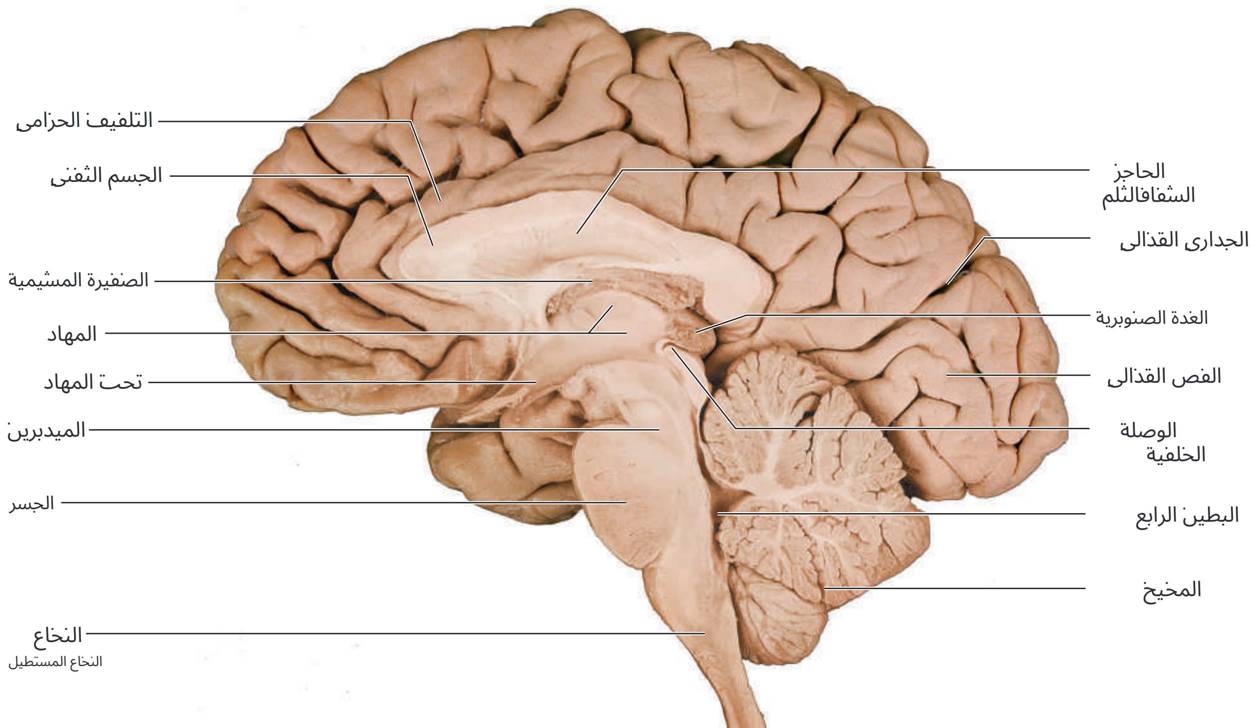
غالبًا ما يُوصف تشريح الدماغ الناضج بمصطلحات *الدماغ الأمامى، ا
لدماغ المتوسط*، و *الدماغ الخلفى*— وهى ثلاثة مصطلحات لا يمكن
فهمها بالكامل إلا مع بعض الوعى بتطور الجهاز العصبى المركزى الح
نينى.
يتطور الجهاز العصبى من الأديم الظاهر، وهو الطبقة الخارجية لل
نسيج فى الجنين. خلال الأسابيع الثلاثة الأولى، يمر الجنين بعملية تُ
سمى التكوين العصبى. تتشكل الصفيحة العصبية على طول الخط ا
لظهرى الأوسط للجنين وتغوص فى الأنسجة لتشكل الأخدود العص
بى، مع الطية العصبية مرتفعة على كل جانب)الشكل 14.3(.
تتدحرج الطيات العصبية نحو بعضها البعض وتندمج، مثل سحاب يغلق، بدءًا من المنطقة العنقية وتتقدم فى الاتجاهين الخلفى والأمامى.

[5] *corpus* = الجسم؛ *call* = سميك
[6] *مخ* = الدماغ؛ *المخيخ* = الصغير

[7] *أمام* = قبل، فى الأمام؛ *دماغ* = الدماغ
[8] *وسط* = الوسط
[9] *معين* = المعين
[10] *نهائى* = النهاية، البعيد
[11] *عبر* = من خلال، بين
[12] *خلف* = خلف، أبعد، بعيد عن
[13] *نخاع* = الحبل الشوكى



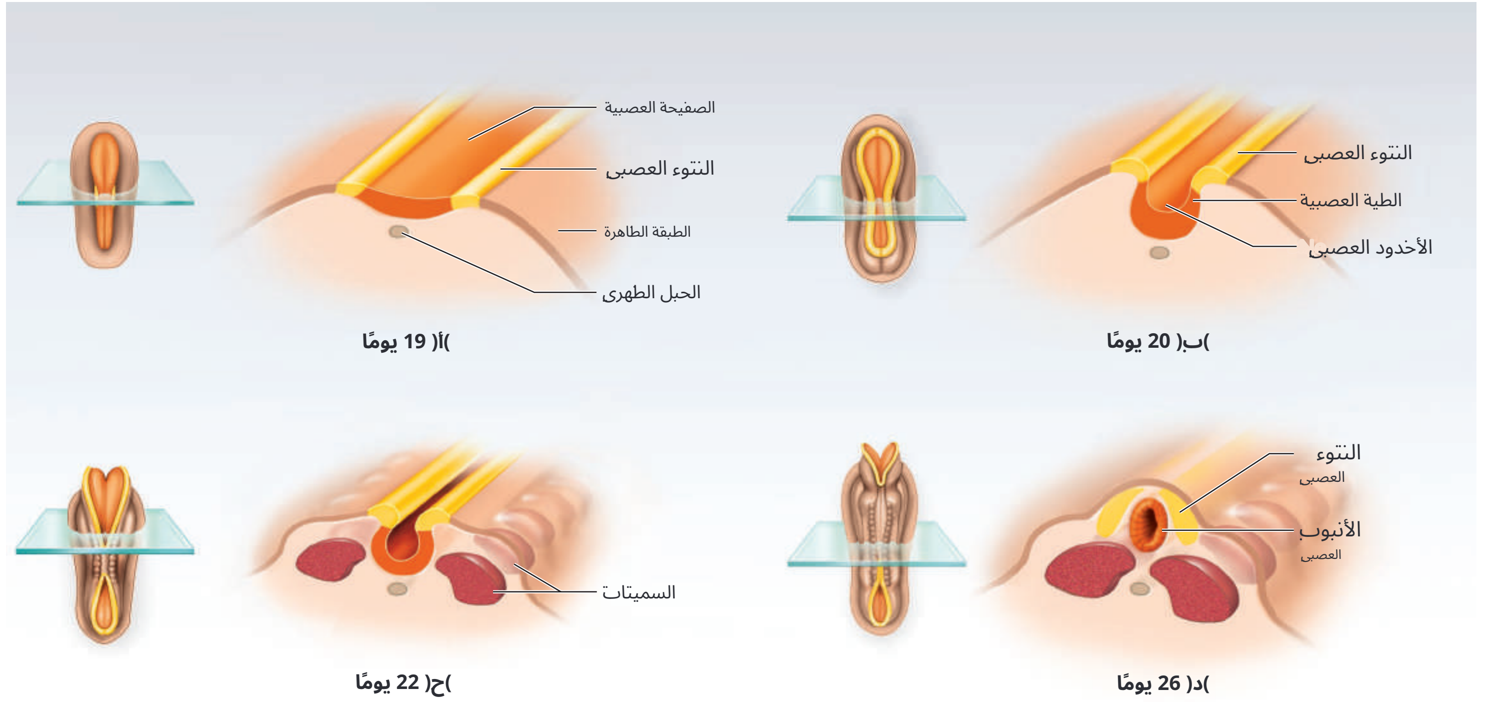




الشكل 14.2 الجانب الوسيط من الدماغ.)أ(المعالم التشريحية الرئيسية للسطح الوسيط.)ب(المقطع الوسيط لدماغ الجثة

APR

صورة: كريستين إكل/ماكجرو هيل



الشكل 14.3 تكوين الأنبوب العصبي الجنيني. الشكل الأيسر في كل حالة هو منظر ظهري للجنين، والشكل الأيمن هو تمثيل ثلاثي الأبعاد للأنسجة عند المستوى المشار إليه من الجنين المعني.)أ(الصفيحة العصبية عند 19 يومًا.
)ب(الأخدود العصبي في اليوم العشرين.)ج(إغلاق الأخدود العصبي في اليوم الثاني والعشرين.)د(الأنبوب العصبي في اليوم السادس والعشرين.

تشكل غمد الجافية حول الحبل الشوكي. تُضغط الأم الجافية القحفية بإحكام ضد عظم القحف، دون وجود فراغ فوق الجافية كما هو الحال حول الحبل الشوكي. ومع ذلك، فهي ليست ملتصقة بالعظم إلا في أماكن محدودة: حول الثقبة العظمى، السرج التركي، التاج الغالي، وخياشيم الجمجمة.

في بعض الأماكن، تنفصل طبقتا الجافية بواسطة الجيوب الجافية، وهي فراغات تجمع الدم الذي جرى عبر الدماغ. اثنان رئيسيان وسطحيان هما الجيب السهمي العلوي، الموجود تحت القحف على الخط المتوسط، و الجيب العرضي الذي يمتد أفقيًا من مؤخرة الرأس نحو كل أذن. تلتقي هذه الجيوب مثل حرف T مقلوب في مؤخرة الرأس وتفرغ في النهاية في الأوردة الوداجية الداخلية للرقبة. هذه الجيوب وغيرها من جيوب الدماغ موصوفة ومصورة بشكل أكثر تفصيلاً مع أوعية الدماغ الأخرى في الفصل 20.

في أماكن معينة، تطوى طبقة السحايا من الجافية إلى الداخل لفصل أجزاء رئيسية من الدماغ عن بعضها البعض وتقييد حركات الدماغ داخل القحف، كما عند تلقي صدمة على الرأس. هناك ثلاثة من هذه: (1) *المنجل المخي*[14] (فالكز SER-eh-bry)، الذي يمتد إلى الشق الطولي المخّي كجدار قوي على شكل هلال بين الجانب الأيمن والأيسر

---

[14]*الفالكس* = منجل

14.2 الأغشية السحائية، البطينات، السائل الدماغي الشوكي، وإمداد الدم

نتائج التعلم المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف الأغشية السحائية للدماغ؛

ب. وصف الغرف المملوءة بالسوائل في الدماغ؛

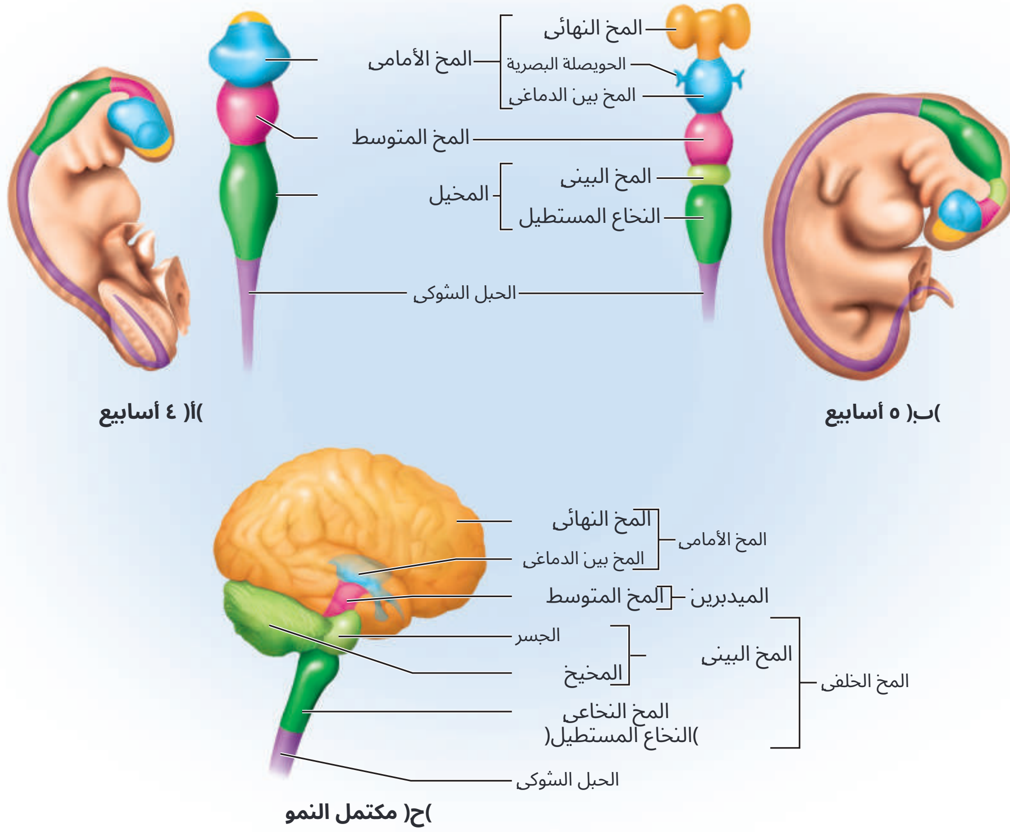
ج. مناقشة إنتاج، ودوران، ووظيفة السائل الدماغي الشوكي الذي يملأ هذه الحجرات؛ و

د. شرح أهمية نظام الحاجز الدماغي.

14.2أ السحايا

يحيط الدماغ بثلاث أغشية، تُسمى *السحايا*، والتي تقع بين النسيج العصبي والعظم. تحمي الدماغ وتوفر إطارًا هيكليًا لشرايينه وأوردة. كما هو الحال في الحبل الشوكي، هذه هي *الأم الجافية، الأم العنكبوتية،* و *الأم الحنون (الشكل 14.5).* وتركيبتها النسيجية موصوفة في الفصل 13 ومماثلة في التجويف القحفي. ومع ذلك، تتكون الأم الجافية القحفية من طبقتين—طبقة خارجية *طبقة حول العظم* تعادل الغشاء المحيط بعظام القحف، وطبقة داخلية *طبقة السحايا.*

فقط طبقة السحايا تستمر داخل القناة الفقرية، حيث



الشكل 14.4 الحويصلات الأولية والثانوية للدماغ الجنينى.)أ(الحويصلات الأولية عند 4 أسابيع.)ب(الحويصلات الثانوية عند 5 أسابيع.)ح(الدماغ المطور بالكامل، ملون لربط بنيته بالحويصلات الثانوية الجنينية.

14.2ب البطينات والسائل الدماغى الشوكى

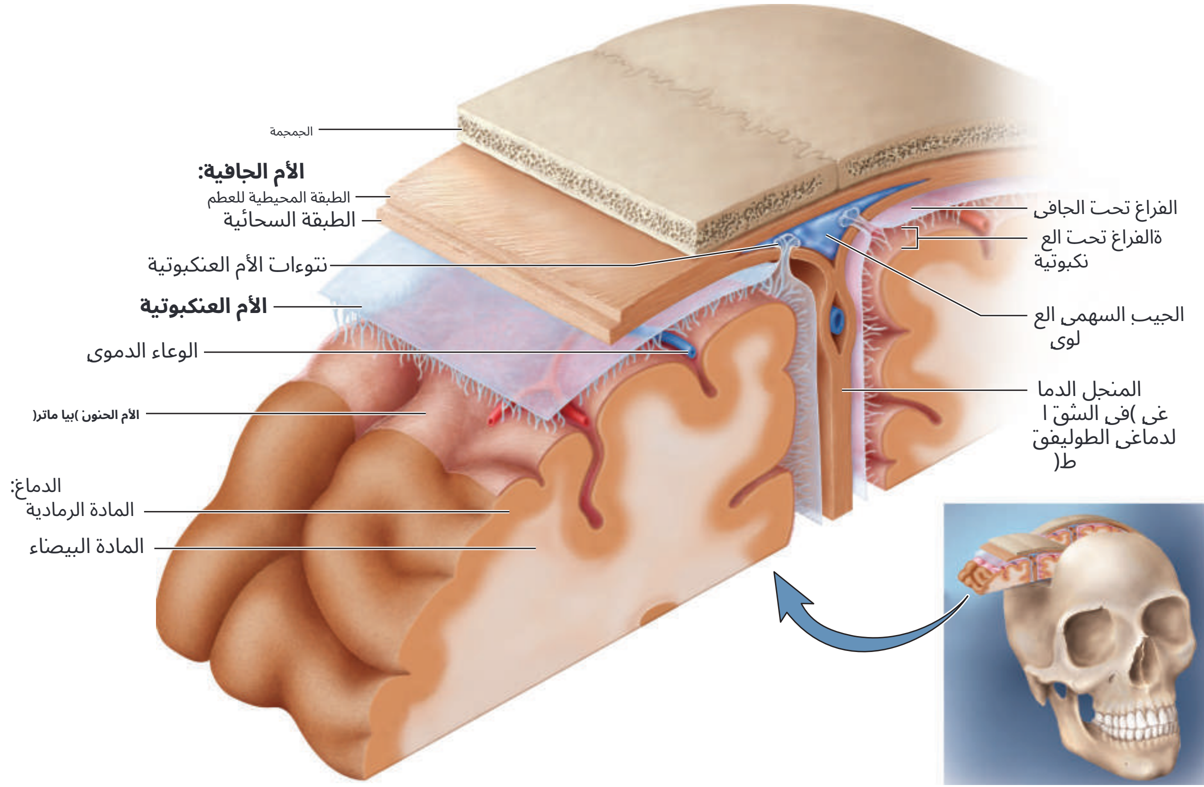
يحتوى الدماغ على أربع حجرات داخلية تُسمى البطينات)الشكل 14.6 (. أكبرها والأمامية منها هما البطينان الجانبيان، اللذان يشكلان قوسًا يشبه قرن الكبش فى كل نصف كرة دماغية. من خلال فتحة صغيرة تُسمى الثقبة بين البطينين، يرتبط كل بطين جانبى بالبطين الثالث، و هو مساحة ضيقة وسطية تقع أسفل الجسم الثفنى. من هنا، يمر قناة تُسمى القناة الدماغية عبر مركز الدماغ المتوسط وتؤدى إلى البطين الرابع، وهو حجرة مثلثة صغيرة بين الجسر والمخيخ. فى الاتجاه الخلفى، تضيق هذه المساحة وتشكل القناة المركزية التى تمتد عبر النخاع المستطيل إلى الحبل الشوكى.

على أرضية أو جدار كل بطين توجد كتلة إسفنجية من الشعيرات الدموية تُسمى الضفيرة المشيمية)CO-royd(، وسُميت بذلك لتشابهها النسيجى مع غشاء جنينى يُدعى المشيمة. *الإبينديما*، نوع من الخلايا الدبقية العصبية التى تشبه الخلايا المكعبة

نصفى الكرة المخية؛)2(*الخيمة* [15] *للمخيخ*)تن-تو-رى-أوم(، التى تمتد كسقف فوق الحفرة القحفية الخلفية وتفصل المخيخ عن المخ العلوى؛ و)3(*الفالق المخيخى*، حاجز عمودى بين النصفين الأيمن والأيسر للمخيخ من الجانب السفلى.

الأم العنكبوتية والأم الحنون مشابهتان لتلك الموجودة فى الحبل الشوكى. الأم العنكبوتية هى غشاء شفاف فوق سطح الدماغ، تحت الأم الجافية. فراغ *تحت العنكبوتية* يفصلها عن الأم الحنون أدناه؛ وهو مملوء بالسائل الدماغى الشوكى ويحتوى على أكبر الأوعية الدموية على سطح المخ. الأم الحنون هى غشاء رقيق وحساس، لا يُرى عادة بدون ميكروسكوب. بينما تغطى الأم العنكبوتية فقط أخاديد سطح المخ، تغوص الأم الحنون فيها، وتتبع جميع تعرجات الدماغ عن كثب، وتتبع الشرايين لمسافة قصيرة أثناء اختراقها للمخ.

[١٥] *المُطّلة* = المُطلّة



الشكل 14.5 الأغشية السحائية للدماغ. مقطع أمامى للرأس.

الطهارة، تبطن البطينات والقنوات وتغطى الصفائر المشيمية. تنتج ا
لسائل الدماغى الشوكى.

السائل الدماغى الشوكى)CSF(هو سائل شفاف وعديم اللون يم
تلئ البطينات والقنوات فى الجهاز العصبى المركزى ويغمر سطحه الخ
ارجى. يتم إفرازه فى البطينات بواسطة الصفائر المشيمية \والبطانة ا
لإبينديمية العامة، وفى الفراغ تحت العنكبوتية على سطح الدماغ. ين
تج الدماغ حوالى 500 مل من السائل الدماغى الشوكى يومياً، لكن ال
سائل يُعاد امتصاصه باستمرار بنفس المعدل ولا يتواجد عادةً سوى 1
00 إلى 160 مل فى وقت واحد. يبدأ إنتاج السائل الدماغى الشوكى
بترشيح بلازما الدم عبر شعيرات الدم فى الدماغ. تقوم خلايا الإبينديم
بتعديل المرشح أثناء مروره من خلالها، لذا يحتوى السائل الدماغى ال
شوكى على كمية أكبر من كلوريد الصوديوم مقارنة ببلازما الدم، لكنه ي
حتوى على كمية أقل من البوتاسيوم والكالسيوم والجلوكوز وقليل جداً
من البروتين.

يتدفق السائل الدماغى الشوكى باستمرار عبر وحول الجهاز الع
صبى المركزى، مدفوعاً جزئياً بضغطه الخاص، وجزئياً بضربات الأهدا
ب الإبينديمية، وجزئياً بنبضات إيقاعية فى الدماغ تنتج عن كل نبضة
قلب. يتدفق السائل الدماغى الشوكى من البطينات الجانبية عبر الثقو
ب بين البطينية إلى البطين الثالث، ثم ينزل عبر القناة الدماغية إلى ا
لبطين الرابع)الشكل 14.7(. يضيف البطينان الثالث والرابع وصفائر
هما المشيمية المزيد من السائل الدماغى الشوكى على طول الطريق.



نظرة أعمق 14.1

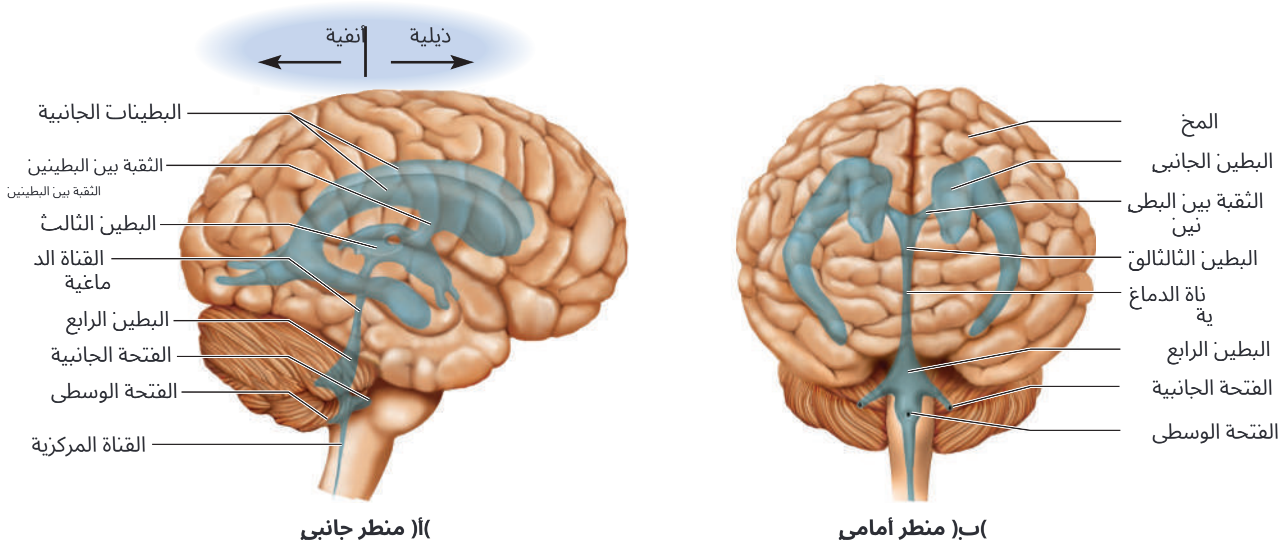
التطبيق السريرى

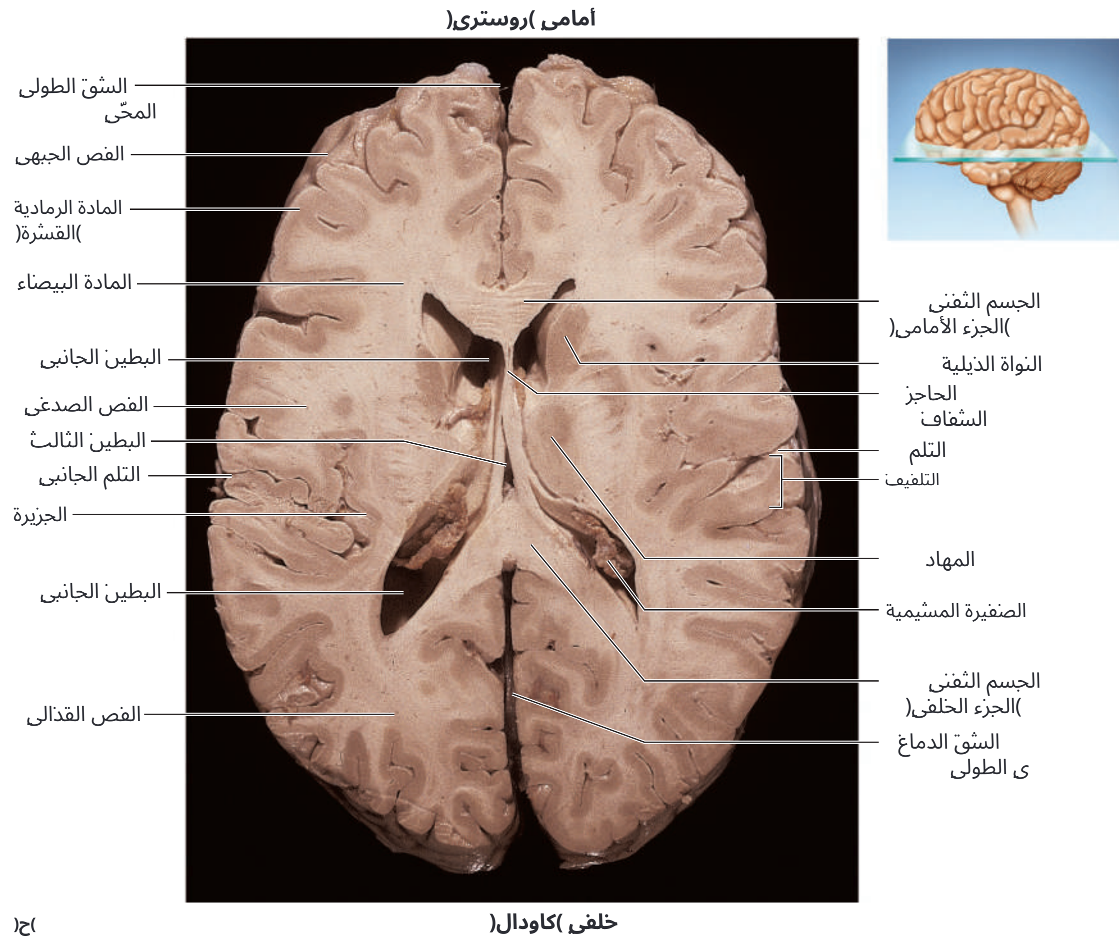
التهاب السحايا

التهاب السحايا— التهاب الأغشية السحائية — هو أحد أخطر الأمراض فى مرحلة الطفولة والرضاعة. يحدث بشكل خاص بين 3 أشهر و2 سنة من العمر. يسببه مح
موعة متنوعة من البكتيريا والفطريات والفيروسات التى تغزو الجهاز العصبى المر
كزى عبر الأنف والحلق، وغالبًا ما يكون ذلك بعد التهابات فى الجهاز التنفسى أو ا
لحلق أو الأذن. تتأثر عادةً الأم الحنون والأم العنكبوتية، ومن هناك يمكن أن ينتشر العدوى إلى الأنسجة العصبية المجاورة. يمكن أن يسبب التهاب السحايا تورم الدم
اغ، ونزيف دماغى، وأحيانًا الوفاة خلال ساعات قليلة من ظهور الأعراض. تشمل ال
علامات والأعراض الحمى الشديدة، وتصلب الرقبة، والنعاس، والصداع الشديد، وا
لقىء.

يتم تشخيص التهاب السحايا جزئيًا من خلال فحص السائل الدماغى الشوكى)CSF(للك
شف عن البكتيريا وخلايا الدم البيضاء. يتم الحصول على السائل الدماغى الشوكى عن ط
ريق البزل القطنى)الموضح فى التعمق 13.1(.

يمكن أن يحدث الموت بسبب التهاب السحايا فجأة جدًا، لذا يجب على الرضع وا
لأطفال الذين يعانون من حمى شديدة تلقى العناية الطبية الفورية. يُظهر طلاب السنة
الأولى فى الجامعة معدل إصابة مرتفع قليلاً بالتهاب السحايا، خاصة أولئك الذين يع
يشون فى مساكن طلابية مزدحمة بدلاً من السكن خارج الحرم الجامعى.





الشكل 14.6 بطينات الدماغ.)أ(منظر جانبى أيمن.)ب(منظر أمامى.)ح(منظر علوى لمقطع أفقى من دماغ جثة، يُظهر البطينات الجانبية وبعض الميزات الأخرى للمخ. APR

c: ريبيكا غراى/دون كينكيد/ماكجرو هيل

بالوصول إلى حجم كبير دون أن يتأثر بوزنه الخاص. إذا كان ال
دماغ يستند بقوة على قاع القحف، فإن الضغط سيقتل النسيج
العصبي.

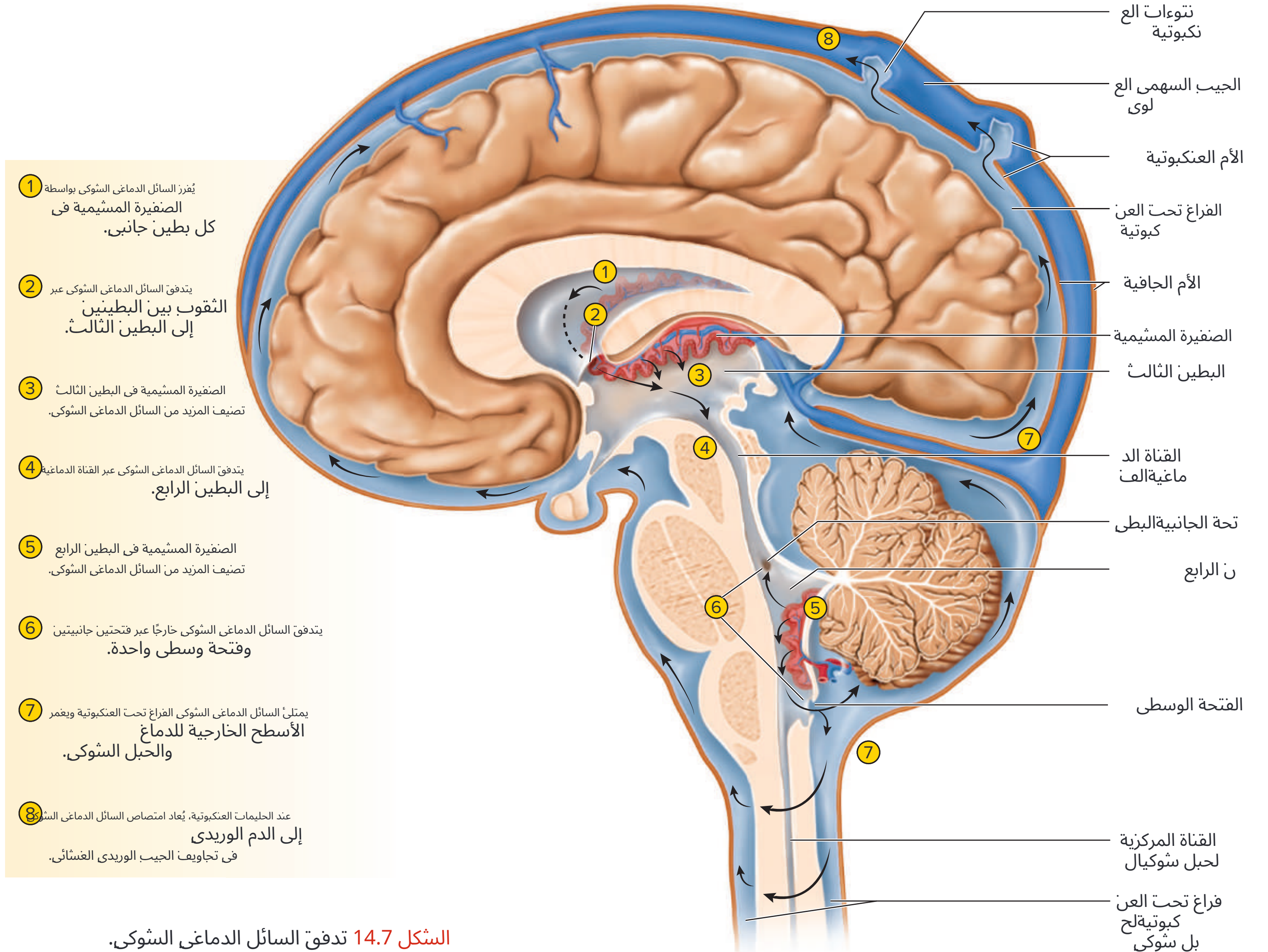
2. الحماية. كما يحمي السائل الدماغي الشوكي الدماغ من ا
لاصطدام بالقحف عندما يتعرض الرأس لصدمة. ومع ذلك،
إذا كانت الصدمة شديدة، فقد يضرب الدماغ داخل القحف أو
يتعرض لإصابة تمزقية نتيجة الاحتكاك مع الأسطح الزاويّة لقاع
القحف. هذا من النتائج الشائعة في حالات إساءة معاملة الأ
طفال (متلازمة الطفل المهزوز) وفي الارتجاجات وإصابات الدم
اغ الرضحية (*TBI*) الناتجة عن السقوط، وحوادث السيارات، وا
لملاكمة، وكرة القدم، وما شابه ذلك.

3. الاستقرار الكيميائي. يغسل السائل الدماغي الشوكي الفضلات ا
لأيضية من النسيج العصبي وينظم بيئته الكيميائية. التغيرات الط
فيفة في تركيبة السائل الدماغي الشوكي يمكن أن تسبب خللاً
في وظائف الجهاز العصبي. على سبيل المثال، تركيز عالٍ من ال
جليسين يعطل التحكم في درجة حرارة الجسم وضغط الدم، وارتفا
ع الرقم الهيدروجيني يسبب الدوار والإغماء.

كمية صغيرة من السائل الدماغي الشوكي تملأ القناة المركزية للحبل ا
لشوكي، ولكن في النهاية، يهرب كله عبر ثلاث فتحات (ثقوب) في ال
بطين الرابع. تؤدي هذه إلى الفراغ تحت العنكبوتية على سطح الدماغ
والحبل الشوكي. من هناك، يُعاد امتصاص السائل الدماغي الشوكي
بواسطة الحليمات العنكبوتية، وهي امتدادات من غشاء العنكبوت ع
لى شكل فروع صغيرة من القرنبيط، تبرز عبر الأم الجافية إلى الجيب ا
لسهمي العلوي. يخترق السائل الدماغي الشوكي جدران الحليمات وي
ختلط بالدم في الجيب.

يخدم السائل الدماغي الشوكي ثلاثة أغراض:

1. الطفو. نظرًا لأن كثافة الدماغ والسائل الدماغي الشوكي (CSF)
متشابهة، فإن الدماغ لا يغرق ولا يطفو في السائل الدماغي ال
شوكي. إنه معلق بواسطة خيوط دقيقة من الأم الجافية العنك
بوتية. الدماغ البشري المزال من الجسم يزن حوالي 1250 جرا
مًا، ولكن عندما يُعلق في السائل الدماغي الشوكي، فإن وزنه ا
لفعلي يكون حوالي 50 جرامًا فقط. بالمثل، فكر في مدى سهو
لة رفع شخص آخر عندما تكون مغمورًا في بحيرة مقارنةً
بكونك على اليابسة. هذا الطفو يسمح للدماغ



الشكل 14.7 تدفق السائل الدماغي الشوكي.

هناك نقطتا دخول محتملتان يجب حمايتهما:
الشعيرات الدموية فى جميع أنسجة الدماغ وشعيرات الضفائر المشيم
ية. فى الموقع الأول، يكون الدماغ محميًا جيدًا بواسطة حاجز الدم–الد
ماغ، الذى يتكون من وصلات ضيقة بين خلايا البطانة التى تشكل جدر
ان الشعيرات الدموية. فى الدماغ النامى، تصل الخلايا النجمية إلى ال
شعيرات الدموية بأقدامها المحيطة بالأوعية، مما يحفز خلايا البطانة ع
لى تكوين وصلات ضيقة تغلق تمامًا الفجوات بينها. هذا يضمن أن أ
ى شىء يغادر الدم يجب أن يمر عبر الخلايا وليس بينها. خلايا البطانة أ
كثر انتقائية من الفجوات بينها، ويمكنها استبعاد المواد الضارة من ن
سيج الدماغ مع السماح بمرور المواد الضرورية. فى الضفائر المشيمية
، يحمى الدماغ حاجز دم–السائل الدماغى الشوكى المماثل، الذى يتكو
ن من وصلات ضيقة بين خلايا الإبينديم. الوصلات الضيقة غائبة فى
خلايا الإبينديم فى أماكن أخرى لأن من المهم السماح بالتبادل بين ن
سيج الدماغ والسائل الدماغى الشوكى. أى أنه لا يوجد حاجز دم–سائل
دماغى شوكى.

نظام حاجز الدماغ)BBS(نفاذ جدًا للماء، والجلوكوز، والمواد القا
بلة للذوبان فى الدهون مثل الأكسجين، وثانى أكسيد الكربون، والكحو
ل، والكافيين، والنيكوتين، والمخدرات. وهو نفاذ قليلاً للصوديوم، وال
بوتاسيوم، والكلوريد، ومنتجات الفضلات مثل اليوريا والكرياتينين. بي
نما يعد نظام الحاجز هذا جهازًا وقائيًا مهمًا، فإنه يشكل عقبة أمام تو
صيل الأدوية مثل المضادات الحيوية وأدوية السرطان، مما يعقد علاج
أمراض الدماغ.
فى بعض الأحيان تتلف الصدمات والالتهابات نظام الحاجز الدما
غى وتسمح للعوامل الممرضة بدخول نسيج الدماغ. علاوة على ذلك،
هناك أماكن تسمى الأعضاء المحيطة بالبطين)CVOs(فى البطينين ا
لثالث والرابع حيث لا يوجد حاجز ويكون الدم على اتصال مباشر بالخلا
يا العصبية فى الدماغ. هذه الأماكن تمكن الدماغ من مراقبة والاستجا
بة لتقلبات الجلوكوز فى الدم، ودرجة الحموضة، والتوتر الاسموزى، وم
تغيرات أخرى. للأسف، توفر هذه الأعضاء أيضًا طريقًا لدخول فيروس
نقص المناعة البشرية)HIV(.

السائل الدماغى الشوكى)CSF(هو أكثر بكثير من مجرد سائل ي
تدفق بشكل سلبى ليغسل ويخفف الدماغ. فهو يحتوى على العديد م
ن الهرمونات، وعوامل النمو، ومواد كيميائية عصبية أخرى تؤثر على
تطور الدماغ والنخاع الشوكى الجنينى، والنوم، والشهية، والوضعية، وا
لحركة، ووظائف أخرى. بعض الخلايا العصبية المتخصصة تمتد إلى ال
سائل الدماغى الشوكى ويبدو أنها تنقل معلومات عن تركيبه إلى أنسج
ة الدماغ الأعمق. التركيب الكيميائى للسائل الدماغى الشوكى ونطاق
تأثيراته الفسيولوجية الكاملة لا تزال فى بدايات الفهم. تُناقش جوانب
أخرى من وظيفة السائل الدماغى الشوكى مع نظام الغليمفاتيك فى ا
لدماغ فى الفصل 21.

14.2ح إمداد الدم ونظام الحاجز الدماغى

الأوعية الدموية التى تخدم الدماغ مفصلة فى الفصل 20.
يشكل الدماغ فقط 2% من وزن جسم البالغ، ومع ذلك يستقبل 15%
من تدفق الدم)حوالى 750 مل/دقيقة(ويستهلك 20% من الأكسجي
ن والجلوكوز. نظرًا لأن الخلايا العصبية لديها طلب عالٍ جدًا على ATP،
وبالتالى على الجلوكوز والأكسجين، فإن ثبات إمداد الدم أمر بالغ الأه
مية للجهاز العصبى. انقطاع تدفق الدم لمدة 10 ثوانٍ فقط يسبب فق
دان الوعى؛ وانقطاع لمدة 1 إلى 2 دقيقة يضعف الوظيفة العصبية ب
شكل كبير؛ و4 دقائق بدون دم عادة ما تسبب ضررًا لا رجعة فيه فى ا
لدماغ)انظر التعمق 14.2(. للمزيد عن تدفق الدم الدماغى، انظر الق
سم 20.5أ.

على الرغم من أهميته الحرجة للدماغ، فإن الدم أيضًا مصدر للأح
سام المضادة، والبلعميات، وسموم البكتيريا، وعوامل أخرى قد تكون
ضارة. الأنسجة الدماغية التالفة لا يمكن استبدالها عمليًا، ولذلك يجب
حماية الدماغ جيدًا. وبناءً عليه، هناك نظام حاجز الدماغ)BBS(الذى
ينظم بدقة ما يمكن أن ينتقل من مجرى الدم إلى سائل نسيج الدماغ.



نظرة أعمق 14.2

التطبيق السريرى

السكتة الدماغية

السكتة الدماغية، أو حادثة الأوعية الدموية الدماغية)CVA(، هى موت مفاجئ لأن
سجة الدماغ نتيجة انقطاع مفاجئ فى إمداد الدم.
هناك نوعان من السكتات الدماغية يتم تمييزهما حسب السبب: السكتة الدماغى
ة النزفية الناتجة عن تمزق وعاء دموى دماغى أو تحت العنكبوتية، والأكثر شيوعًا، ا
لسكتة الدماغية الإقفارية)iss-KEE-mic(الناتجة عن انسداد وعاء دموى، عادة ب
سبب جلطة دموية)تخثر(أو ترسبات دهنية)تصلب الشرايين(. باستثناء أوقات غ
ير معتادة مثل جائحة كوفيد-19 التى بدأت فى 2019، تُعد السكتة الدماغية الس
بب الثانى للوفاة بعد مرض الشريان التاجى؛ حيث يعيش حوالى نصف المصابين
بسكتة دماغية أقل من سنة واحدة بعد الإصابة. يمكن أن تحدث السكتة الدماغية
فى أى عمر، لكن حوالى ثلثى الحالات تحدث لدى الأشخاص الذين تزيد أعمارهم ع
ن 65 عامًا.
بعيدًا عن العمر، تشمل عوامل الخطر للسكتة الدماغية ارتفاع ضغط الدم؛ ارت
فاع الكوليسترول فى الدم؛ السمنة؛ داء السكرى؛ وبعض خيارات نمط الحياة مثل
قلة النشاط البدنى، الإفراط فى تناول الكحول، التدخين، واستخدام المخدرات مثل
الأمفيتامينات والكوكايين. يمكن تقليل خطر السكتة الدماغية باستخدام أدوية ال
ستاتين)لخفض مستوى الكوليسترول(؛ أدوية خافضة لضغط الدم؛ وطرق أخرى
تتعلق بنمط الحياة، والعلاج الطبى، والجراحى. لم يثبت أن تناول الأسبرين بجرعة
منخفضة يوميًا مفيد للوقاية الأولية من السكتة الدماغية الأولى، لكنه قد يكون م
فيدًا

للوقاية الثانوية من التكرار لدى الذين أصيبوا بسكتة دماغية سابقة.

تعتمد علامات وأعراض السكتة الدماغية على وظيفة الأنسجة الواقعة بعد مو
قع النزف أو الانسداد، حيث يحدث موت الخلايا العصبية. قد تشمل الشلل)عادة
فى الجانب المعاكس من الجسم للسكتة الدماغية الدماغية(؛ عدم القدرة على إخرا
ج اللسان وتحريكه يمينًا ويسارًا عند الطلب؛ العمى، عيوب فى المجال البصرى، أو
فقدان آخر للإحساس؛ فقدان القدرة على النطق)فقدان الكلام الواضح(؛ أو عجز إد
راكى)خلل فى الوعى، الذاكرة، أو التفكير(. الأعراض المشابهة التى تستمر أقل من
24 ساعة تُسمى النوبة الإقفارية العابرة)TIA(، والتى تُعرف شعبيًا بـ "السكتة الدما
غية الصغيرة". يمكن أن تنذر النوبة الإقفارية العابرة بسكتة دماغية حقيقية لاحقًا.

لكى تكون مستعدًا للتعرف بدقة على السكتة الدماغية لدى شخص آخر والح
صول على المساعدة السريعة، تذكر الاختصار FAST: ضعف الوجه)ترهل أو تدلى
فى جانب واحد من الوجه(، انحراف الذراع)عدم القدرة على منع ذراع واحدة من الا
نخفاض عند طلب رفع كلا الذراعين فوق الرأس(، صعوبة فى الكلام، ووقت الاتصا
ل بخدمات الطوارئ.
يحدث تلف دماغى لا رجعة فيه)موت الخلايا العصبية(بعد حوالى 3 ساعات، ولذ
لك يمكن الوقاية منه بالعلاج الطارئ السريع — كما يؤكد الشعار، الوقت هو الدماغ
!

تشمل الألياف الصاعدة الألياف الحسية من الدرجة الأولى في الحزم الرقيقة والحزم الإسفينية، التي تنتهي في *النوى الرقيقة* و *النوى الإسفينية* كما هو موضح في الشكل 14.9ح. هنا، تتشابك مع الخلايا العصبية من الدرجة الثانية التي تعبر الألياف الخاصة بها وتشكل الشريط المعروف باسم *الحبل الوبري الوسيط*[16] على كل جانب. ترتفع هذه الألياف من الدرجة الثانية إلى المهاد، حيث تتشابك مع الخلايا العصبية من الدرجة الثالثة التي تكمل المسار إلى قشرة المخ (قارن الشكل 13.6أ).

أكبر مجموعة من الألياف النازلة هي زوج من المسارات القشرية الشوكية التي تملأ الأهرامات على السطح الأمامي. تحمل هذه الإشارات الحركية من قشرة المخ في طريقها إلى الحبل الشوكي، لتحفيز العضلات الهيكلية في النهاية. في أي وقت تقوم فيه بحركة جسدية أسفل الرقبة، تمر الإشارات المتجهة إلى عضلاتك عبر هنا. يعبر حوالي 90% من هذه الألياف عند تقاطع الأهرامات، وهي نقطة مرئية خارجيًا بالقرب من الطرف السفلي للأهرامات (الشكل 14.8أ). نتيجة لذلك، يتم التحكم في عضلات أسفل الرقبة بواسطة الجانب المقابل من الدماغ. مسار أصغر المسار القشري البصري يتحكم في عضلات الرقبة.

يحتوي النخاع المستطيل على نوى تشارك في العديد من الوظائف الحسية والحركية الأساسية. تشمل الحسية حواس السمع، التوازن، اللمس، الضغط، الحرارة، التذوق، والألم؛ وتشمل الحركية المضغ، اللعاب، البلع، التقيؤ، التنفس، الكلام، السعال، العطس، التعرق، التحكم القلبي الوعائي والجهاز الهضمي، وحركات الرأس والرقبة والكتف. تدخل وتخرج الإشارات لهذه الوظائف من النخاع المستطيل ليس فقط عبر الحبل الشوكي، بل أيضًا عبر أربعة أزواج من الأعصاب القحفية التي تبدأ أو تنتهي هنا: الأعصاب القحفية الثامنة (جزئيًا)، التاسعة، العاشرة، والثانية عشر. عند مستوى المقطع في الشكل 14.9ح، نرى منشأ اثنين منها، العصب المبهم (X) والعصب تحت اللساني (XII). أسماء ووظائف هذه الأعصاب مفصلة في القسم 14.6ح.

ميزة أخرى تُرى في المقطع العرضي هي النواة الموجية النواة الزيتونية السفلية، وهي مركز ترحيل رئيسي للإشارات القادمة من مستويات متعددة من الدماغ والحبل الشوكي إلى المخيخ. التكوين الشبكي، المفصل لاحقًا، هو شبكة فضفاضة من النوى تمتد عبر النخاع المستطيل، الجسر، والدماغ المتوسط. في النخاع المستطيل، يشمل مركز القلب، الذي ينظم معدل وقوة ضربات القلب؛ مركز الأوعية الدموية، الذي ينظم ضغط الدم وتدفقه عن طريق توسيع وتضييق الأوعية الدموية؛ مركزين تنفسيين، ينظمان إيقاع وعمق التنفس؛ ونوى أخرى تشارك في الوظائف الحركية المذكورة أعلاه.

14.3ب الجسر

يتطور الميتينسيفالون إلى الجسر والمخيخ. سنعود إلى المخيخ بعد الانتهاء من جذع الدماغ. يبلغ طول الجسر[17] (الشكل 14.9ب) حوالي 2.5 سم. يظهر معظم الجسر كبروز أمامي عريض أمام النخاع المستطيل. في الجزء الخلفي، يتكون بشكل رئيسي من زوجين من السيقان السميكة تسمى *السيقان المخيخية*، وهي الحواف المقطوعة في النصف العلوي من الشكل. تربط هذه السيقان المخيخ بالجسر والدماغ المتوسط وسيتم مناقشتها مع المخيخ.

في المقطع العرضي، يظهر الجسر استمرارًا للتكوين الشبكي المذكور سابقًا، والحبل الوبري الوسيط،

[16] لمن = شريط؛ إسكوس = صغير
[17] جسر = جسر

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

5. اذكر أسماء الأغشية الثلاث من السطح إلى العمق. كيف يختلف الجافية في الدماغ عن تلك في الحبل الشوكي؟
6. وصف ثلاث وظائف للسائل الدماغي الشوكي.
7. من أين ينشأ السائل الدماغي الشوكي وما المسار الذي يسلكه داخل وحول الجهاز العصبي المركزي؟
8. اذكر مكوني نظام الحاجز الدماغي و اشرح أهمية هذا النظام.

14.3 المخ الخلفي والمخ المتوسط

نتائج التعلم المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. اذكر مكونات المخ الخلفي والمخ المتوسط ووظائفها؛ و
ب. وصف موقع ووظائف التكوين الشبكي.

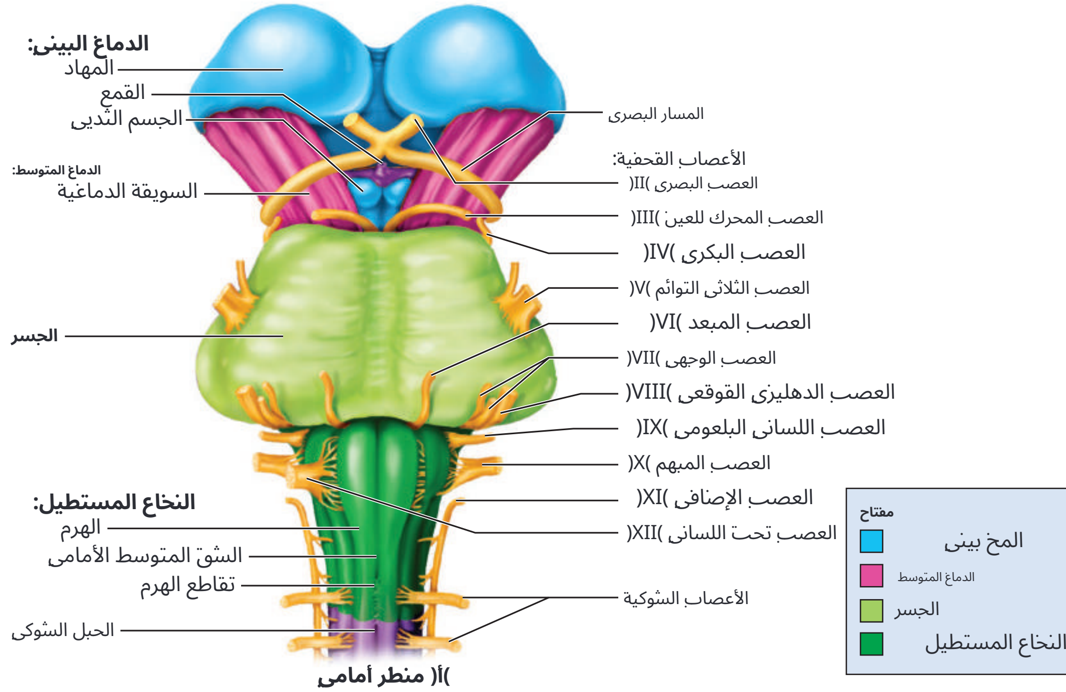
سنُنظم دراسة الدماغ في الصفحات التالية حول الحويصلات الثانوية الخمس للدماغ الجنيني ومشتقاتها الناضجة. سنبدأ من الاتجاه القذالي إلى الأنفي، بدءًا بجذع الدماغ ووظائفه البسيطة نسبيًا، ثم نتقدم إلى الدماغ الأمامي، مركز الوظائف المعقدة مثل التفكير والذاكرة والعاطفة. تذكر أن جذع الدماغ يتكون من النخاع المستطيل، والجسر، والمخ المتوسط.

14.3أ النخاع المستطيل

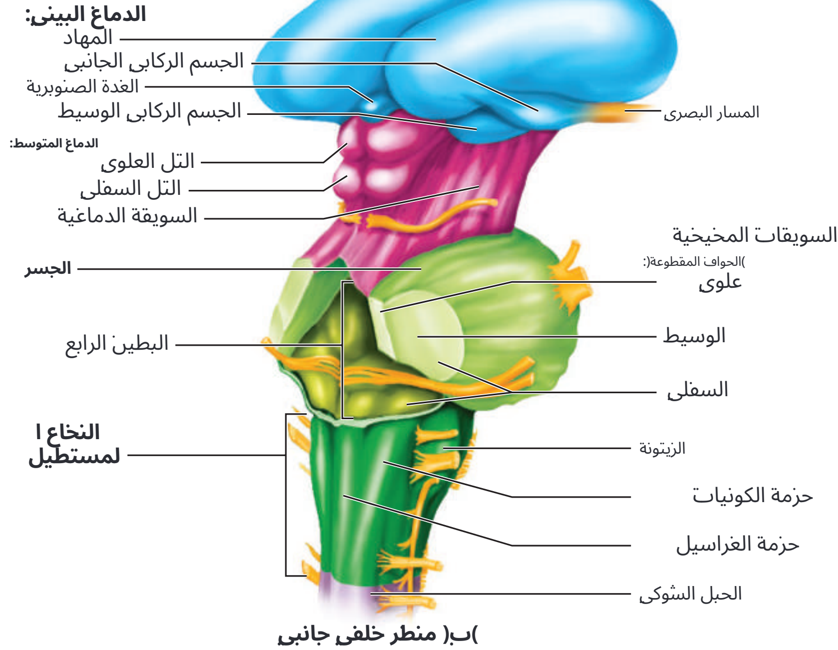
كما ذُكر سابقًا، ينقسم المخ الخلفي الجنيني إلى قسمين فرعيين: النخاع الشوكي والنخاع المتوسط (انظر الشكل 14.4). يصبح النخاع الشوكي بنية واحدة في البالغين، وهي النخاع المستطيل (meh-DULL-uh OB-long-GAH-ta).

يبدأ النخاع (الشكل 14.8؛ انظر أيضًا الشكل 14.2) عند الثقبة العظمى في الجمجمة ويمتد حوالي 3 سم باتجاه الأنف، وينتهي عند أخدود عرضي بين النخاع المستطيل والجسر. يبدو سطحيًا كامتداد للحبل الشوكي، لكنه أعرض قليلاً. ومع ذلك، تظهر اختلافات كبيرة عند الفحص الدقيق لتشريحه الكلي والمجهري. خارجيًا، يتميز السطح الأمامي ببروز من الحُدَب يُسمى الأهرامات. تشبه مضارب البيسبول المتجاورة، وهي أعرض عند الطرف الأنفي، وتضيق باتجاه الذيل، ويفصل بينهما أخدود طولي يُسمى الشق المتوسط الأمامي، وهو مستمر مع ذلك الموجود في الحبل الشوكي. من المنظر الخلفي الجانبي، يمكن رؤية نتوء بارز يُسمى الزيتون بجانب كل هرم، وزوج من الحُدَب، هما الحزمة الرقيقة والحزمة الإسفينية، وهما امتدادان لتلك الموجودة في الحبل الشوكي.

تمر جميع الألياف العصبية التي تربط الدماغ بالحبل الشوكي عبر النخاع المستطيل. كما رأينا في الحبل، بعض هذه الألياف تصاعدية (حسية) وبعضها تنازلية (حركية).





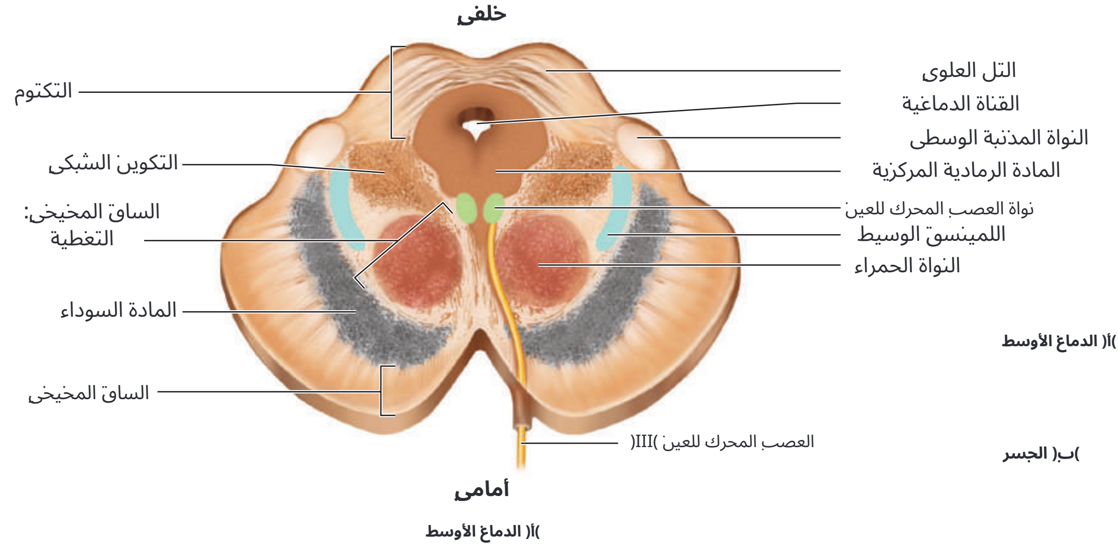


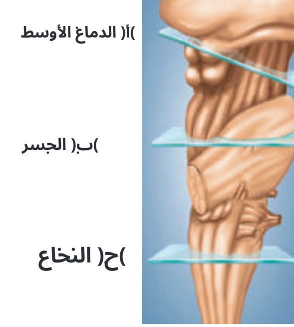
الشكل 14.8 جذع الدماغ والدماغ البينى. (أ) منظر أمامى. (ب) منظر خلفى جانبى. ملون ليتطابق مع الأصول الجنينية فى الشكل 14.4. الحد الفاصل بين السويقات المخيخية الوسطى والسفلية غير واضح. APR

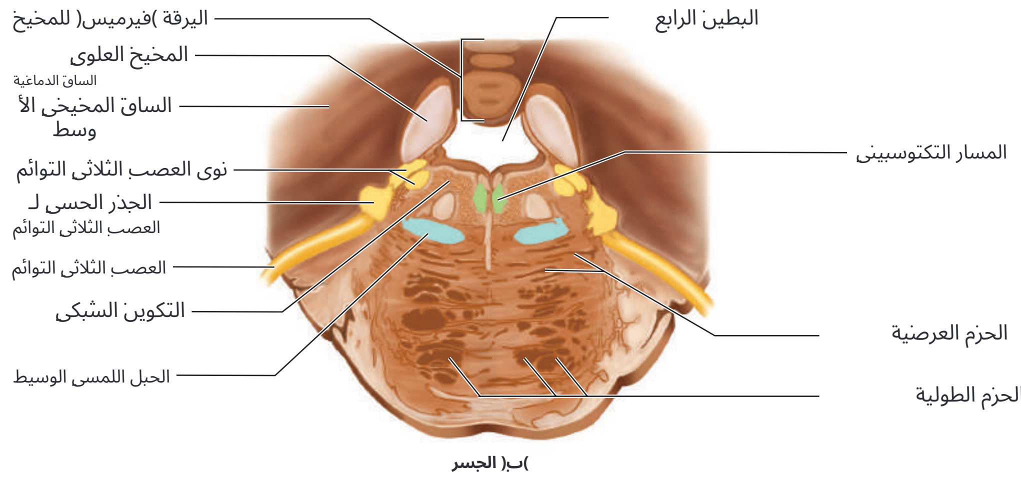
تخرج الأعصاب الثلاثة الأخرى من الأخدود بين الجسر والنخاع المستطيل. تشمل وظائف هذه الأعصاب الأربعة، المفصلة فى الجدول 14.1، أدوارًا حسية فى السمع، والتوازن، والتذوق؛ والإحساسات الوجهية مثل اللمس والألم؛ وأدوارًا حركية فى حركة العين، وتعبيرات الوجه، والمضغ، والبلع، والتبول، وإفراز اللعاب والدموع. يحتوى التكوين الشبكى فى الجسر على نوى إضافية معنية بالنوم، والتنفس، والوضعية.

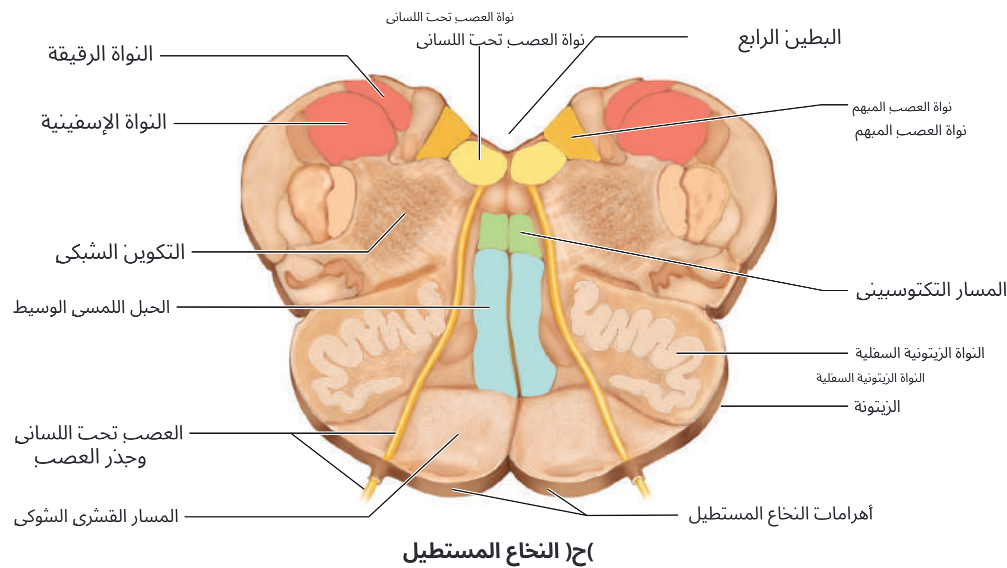
مسار القشرة الشوكية، ومسارات شوكية أخرى. النصف الأمامى من الجسر (النصف السفلى من الشكل) يهيمن عليه مسارات المادة البيضاء، بما فى ذلك الحزم العرضية التى تعبر بين اليسار واليمين وتربط نصفى الكرة المخيخية، والحزم الطولية التى تنقل الإشارات الحسية والحركية صعودًا ونزولًا فى جذع الدماغ.

تبدأ أو تنتهى الأعصاب القحفية من الخامس إلى الثامن فى الجسر، على الرغم من أننا نرى فقط العصب الثلاثى التوائم (V) فى المستوى الموضح.









الشكل 14.9 مقاطع عرضية لجذع الدماغ. مستوى كل مقطع موضح فى الشكل على اليمين.)أ(الدماغ الأوسط، مقطوع بشكل مائل ليعبر من خلال التلال العلوية.)ب(الجسر. الحواف المستقيمة تشير إلى حواف القطع فى الساقين حيث تم إزالة المخيخ.)ح(النخاع المستطيل.

APR

تتبع المسار الذى تسلكه الألياف من الحزم الرقيقة والحزم الإسفينية الموصوفة فى القسم 13.1e عبر هذه الأشكال الثلاثة كلها.

14.3c الدماغ المتوسط

يتحول الدماغ المتوسط إلى هيكل دماغى ناضج واحد، وهو الدماغ الم توسط)الشكل 14.9a(— وهو جزء قصير من جذع الدماغ يربط بين ال دماغ الخلفى والدماغ الأمامى)انظر الأشكال 14.2، 14.8(. يحتوى عل ى القناة الدماغية، واستمراريات اللمينسكوس الوسيط وتشكيل الش بكة، ونوى الحركة لعصبين قحفيين يتحكمان فى حركات العين: الع صب القحفى الثالث)العصب المحرك للعين(والرابع)العصب البكر ى(. يُرى فقط الأول منهما فى المستوى الموضح.
)النواة المِهْدِيّة الوسطى التى تُرى فى هذا الشكل ليست جزءًا من الدم اغ المتوسط، بل هى جزء من المِهاد الذى يقع فى مستوى هذا المقط ع.(

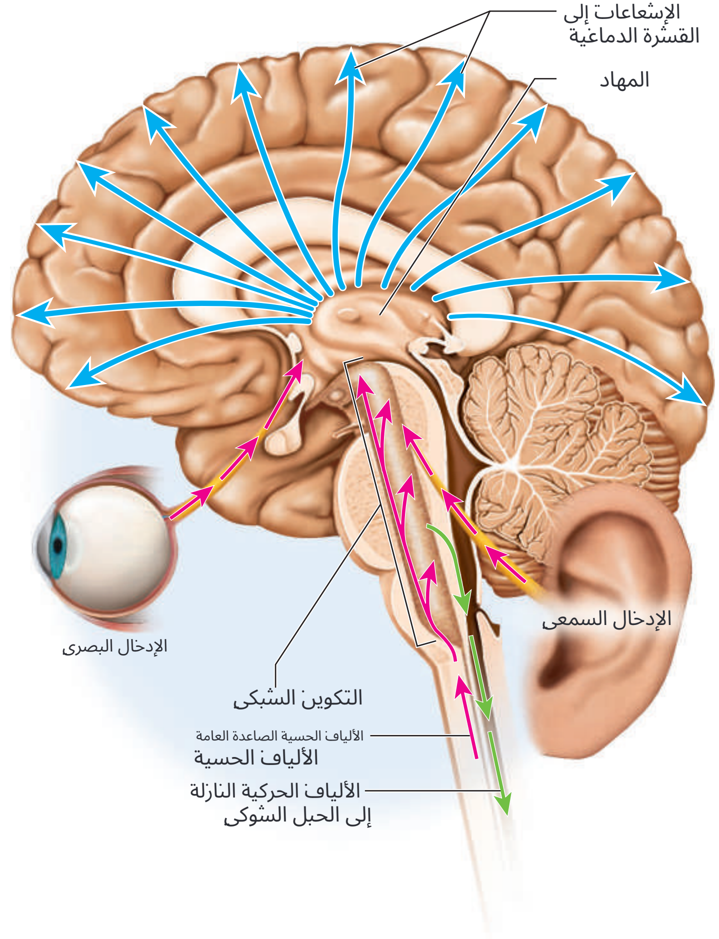
الجزء الخلفى من الدماغ المتوسط خلف القناة الدماغية هو سق ف يشبه التكتوم.[18] يظهر أربعة نتوءات. الزوج العلوى)الرُّسْترالى(، الم سمى التلال العلوية[19])كوليكولى العلوية(، يتحكم فى عضلات العين ا لخارجية، مما يمكننا من توجيه نظرنا نحو هدف، وتتبع الأجسام المتحر كة، وتحريك العينين والرأس استجابة لمحفز بصرى)على سبيل المثا ل، للنظر إلى شىء تراه فى الرؤية المحيطية(. بين التلال العلوية والمِها د توجد مراكز تحكم بصرية أخرى، وهى النوى قبل التكتومية التى تتح كم فى قطر الحدقة وتركيز العدسة.

الزوج السفلى)الذَنَيى(، المسمى التلال السفلية، يستقبل إشارات م ن الأذن الداخلية وينقلها إلى أجزاء أخرى من الدماغ، وخاصة المِهاد. ه ذه التلال حساسة للفروق الزمنية بين الأصوات التى تسمعها الأذنان، وبالتالى تساعد فى تحديد مصدر الصوت فى الفضاء. كما تعالج التغير ات فى النغمة، وهو أمر مهم لأغراض مثل فهم كلام شخص آخر. كما أ نها تتوسط الاستدارة الانعكاسية للرأس استجابة للصوت، وميل الشخ ص للقفز عند مفاجأته بصوت مفاجئ.

أمامى القناة الدماغية، يتكون الدماغ المتوسط بشكل رئيسى من السيقان الدماغية — ساقان تربطان المخ بجذع الدماغ. لكل ساق ثلا ثة مكونات رئيسية: التغطية، المادة السوداء، والساق الدماغى. التغ طية[20] يهيمن عليها النواة الحمراء المسماة بهذا الاسم بسبب لونها ا لوردى الناتج عن كثافة الأوعية الدموية العالية فيها. تشكل الألياف ال قادمة من النواة الحمراء مسار الحبل الشوكى الأحمر فى معظم الثدييا ت، لكن فى البشر تذهب اتصالاتها بشكل رئيسى إلى ومن المخيخ، ا لذى تتعاون معه فى التحكم الحركى الدقيق. المادة السوداء[21] (sub-S TAN-she-uh NY-gruh) هى نواة رمادية داكنة إلى سوداء م صبوغة بالميلانين.
هى مركز حركى ينقل إشارات مثبطة إلى المِهاد والنوى القاعدية)التى سيتم مناقشتها لاحقًا(، مما يكبح الحركات الجسدية غير المرغوب فيه ا. يؤدى تدهور الخلايا العصبية فى المادة السوداء إلى رعشات العضلا ت فى مرض باركنسون)انظر التعمق 12.4(. الساق الدماغى)الجمع: *السيقان*(هو حزمة من الألياف العصبية التى تربط المخ بالجسر وتح مل مسارات الأعصاب القشرية الشوكية.

القناة الدماغية محاطة بالمادة الرمادية المركزية)حول القناة(. ت شارك هذه المادة مع التكوين الشبكى فى التحكم فى وعى الألم، كما هو موضح بمزيد من التفصيل فى الفصل 16.

[18] *التكتوم* = السقف، الغطاء
[19] *التلال* = التل؛ *القل* = صغير
[20] *التغمن* = الغطاء
[21] *المادة* = المادة؛ *النيغرا* = الأسود



الشكل 14.10 التكوين الشبكى. يتكون التكوين من أكثر من 100 نواة موزعة فى جميع أنحاء جذع الدماغ. تشير الأسهم الصاعدة باللون الأرجوانى إلى مسارات الإدخال إلى التكوين الشبكى؛ تشير الأسهم الزرقاء إلى التوصيل الإشعاعى للإشارات من المهاد إلى قشرة المخ؛ وتشير الأسهم النازلة الخضراء إلى المخرجات من التكوين الشبكى إلى الحبل الشوكى.

حدد مكونات التكوين الشبكى فى الأجزاء الثلاثة من الشكل 14.9.

طبق ما تعرفه

لماذا تظهر التلال السفلية فى الشكل 14.8ب ولكن ليس فى الشكل 14.9أ؟ كيف يرتبط هذان الشكلان ببعضهما البعص؟

14.3د التكوين الشبكى

التكوين الشبكى[22] هو شبكة غير منظمة بشكل محكم من المادة الرم ادية التى تمتد عموديًا عبر جميع مستويات جذع الدماغ والحبل الشو كى العلوى، ويظهر فى جميع المستويات الثلاثة للشكل 14.9. يشغل جزءاً كبيراً من المساحة بين حزم الألياف البيضاء ونوى جذع الدماغ الأ كثر تميزاً تشريحياً، وله اتصالات مع العديد من مناطق المخ)الشكل 14.10(. ويتكون من أكثر من 100 نواة صغيرة تُعرف أقل بالحدود ال تشريحية منها

[22] *ret* = شبكة؛ *icul* = صغير

على الرغم من أن المخيخ يشكل حوالى 10% فقط من كتلة الدماغ، إلا أن له حوالى 60% من مساحة سطح القشرة الدماغية ويحتوى على أكثر من نصف جميع الخلايا العصبية فى الدماغ. خلاياه الصغيرة والكثيفة المسافة خلايا الحبيبات هى النوع الأكثر وفرة من الخلايا العصبية فى الدماغ بأكمله. ومع ذلك، فإن خلاياه الأكثر تميزًا هى خلايا بوركنجى[26] الكبيرة وغير العادية الشكل)pur-KIN-jee(.
تتميز هذه الخلايا بتفرع هائل من التغصنات مضغوطة فى مستوى واحد مثل شجرة مسطحة)انظر الشكل 12.5(. تُرتب خلايا بوركنجى فى صف واحد، مع هذه المستويات السميكة من التغصنات متوازية مع بعضها البعض مثل الكتب على رف. تمتد محاورها العصبية إلى النوى العميقة، حيث تشكل نقاط تشابك مع الخلايا العصبية المخرجة التى تمتد محاورها العصبية إلى جذع الدماغ.

يرتبط المخيخ بجذع الدماغ عبر ثلاث أزواج من السيقان تُسمى السيقان المخيخية[27]: زوج من السيقان السفلية المرتبطة بالنخاع المستطيل، وزوج من السيقان الوسطى المرتبطة بالجسر، وزوج من السيقان العلوية إلى الدماغ المتوسط)انظر الشكل 14.8ب(. تتكون هذه من حزم سميكة من الألياف العصبية التى تنقل الإشارات من وإلى المخيخ. الاتصالات بين المخيخ وجذع الدماغ معقدة، ولكن مع تجاهل بعض الاستثناءات، يمكننا استخلاص بعض التعميمات.

يدخل معظم المدخلات الشوكية إلى المخيخ عبر السيقان السفلية؛ وتدخل معظم المدخلات من بقية الدماغ عبر السيقان الوسطى؛ وتنتقل مخرجات المخيخ بشكل رئيسى عبر السيقان العلوية.

كانت وظيفة المخيخ غير معروفة فى خمسينيات القرن العشرين. وبحلول السبعينيات، أصبح يُنظر إليه كمركز لمراقبة تقلصات العضلات والمساعدة فى التنسيق الحركى. الأشخاص الذين يعانون من آفات مخيخية يظهرون عجزًا خطيرًا فى التنسيق والقدرة الحركية؛ وسيتم التحدث لاحقًا فى هذا الفصل عن دور المخيخ فى الحركة)انظر القسم 14.5ح(. لكن الآفات المخيخية تؤثر أيضًا على عدة وظائف حسية ولغوية وعاطفية ووظائف غير حركية أخرى. أظهرت الدراسات الحديثة باستخدام التصوير المقطعى بالإصدار البوزيترونى)PET(والتصوير بالرنين المغناطيسى الوظيفى)fMRI( )كلاهما موصوف فى التعمق 1.5(، والدراسات السلوكية للأشخاص الذين يعانون من آفات مخيخية، رؤية أوسع بكثير لوظيفة المخيخ. يبدو أن دوره العام هو تقييم أنواع معينة من المدخلات الحسية، ومراقبة حركة العضلات هى جزء فقط من وظيفته الأوسع.

يكون المخيخ نشطًا للغاية عندما، على سبيل المثال، يستكشف الشخص الأشياء بأطراف أصابعه لمقارنة نسيجها دون النظر إليها.)تغذى ألياف الأعصاب اللمسية من خرطوم الفأر ومخالب القط المخيخ أيضًا.(كما توجد بعض الإدراكات المكانية هنا. يكون المخيخ أكثر نشطًا عندما يُطلب من الشخص حل لغز لوح المسامير مقارنة بتحريك المسامير عشوائيًا على نفس اللوح. بعض الأشخاص الذين يعانون من آفات مخيخية يجدون صعوبة فى التعرف على وجهات نظر مختلفة لجسم ثلاثى الأبعاد على أنها تنتمى إلى نفس الجسم.

المخيخ هو أيضًا منظم للزمن. تُظهر فحوصات PET زيادة فى نشاط المخيخ عندما يُطلب من الشخص تقدير الوقت المنقضى بين محفزين. الأشخاص الذين يعانون من آفات مخيخية يواجهون صعوبة فى مهام النقر الإيقاعى بالأصابع واختبارات أخرى لـ

[26] يوهانس إ. فون بوركنييه)1787–1869(، عالم تشريح بوهيمى

[27] *ped* = قدم؛ *uncle* = صغير

باستخدامهم لمواد ناقلة عصبية مختلفة. تشمل وظائف هذه الأنوية ما يلى:

- التحكم الحركى الجسدى. يرسل بعض الخلايا العصبية الحركية فى القشرة الدماغية محاورها إلى نوى التكوين الشبكى، التى تُنتج بعد ذلك *المسارات الشبكية الشوكية* التى تنزل فى الحبل الشوكى. تقوم هذه المسارات بضبط توتر العضلات للحفاظ على النغمة والتوازن والوضعية، خاصة أثناء حركات الجسم. يقوم التكوين الشبكى أيضًا بتمرير الإشارات من العينين والأذنين إلى المخيخ حتى يتمكن المخيخ من دمج المحفزات البصرية والسمعية والتوازنية)التوازن والحركة(فى دوره فى تنسيق الحركة. تشمل النوى الحركية الأخرى مراكز التحديق التى تمكّن العينين من تتبع وتثبيت الأجسام، و مولدات الأنماط المركزية — تجمعات عصبية تنتج إشارات إيقاعية لعضلات التنفس والبلع.

- التحكم القلبى الوعائى. يشمل التكوين الشبكى مراكز القلب والأوعية الدموية المذكورة سابقًا فى النخاع المستطيل.

- تعديل الألم. يُعد التكوين الشبكى أحد المسارات التى تصل عبره إشارات الألم من الجزء السفلى من الجسم إلى القشرة الدماغية. كما أنه مصدر *المسارات النازلة المسكنة* المذكورة فى وصف المسارات الشبكية الشوكية فى الفصل 13. فى ظروف معينة، تعمل الألياف العصبية فى هذه المسارات داخل الحبل الشوكى لتخفيف وعى الشخص بالألم.

- النوم والوعى. يمتلك التكوين الشبكى امتدادات إلى المهاد والقشرة الدماغية تسمح له بالتحكم جزئيًا فى الإشارات الحسية التى تصل إلى المخ وتلفت انتباهنا الواعى. يلعب دورًا مركزيًا فى حالات الوعى مثل اليقظة والنوم. قد يؤدى إصابة التكوين الشبكى إلى غيبوبة لا رجعة فيها.

- التعوّد. هذه عملية يتعلم فيها الدماغ تجاهل المحفزات المتكررة وغير المهمة مع البقاء حساسًا لمحفزات أخرى. على سبيل المثال، فى مدينة صاخبة، يمكن للشخص أن ينام رغم أصوات المرور لكنه يستيقظ بسرعة عند سماع صوت منبه أو بكاء طفل. تُسمى نوى التكوين الشبكى التى تعدل نشاط القشرة الدماغية *نظام التنشيط الشبكى* أو *النظام التعديلى القشرى خارج المهاد*.

14.3هـ المخيخ

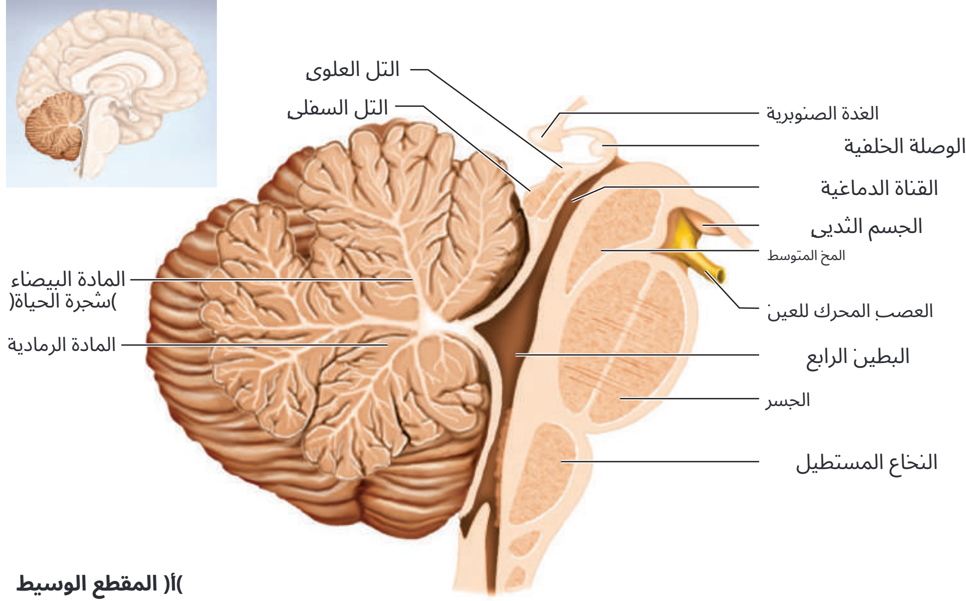
المخيخ هو أكبر جزء فى الدماغ الخلفى وثانى أكبر جزء فى الدماغ ككل)الشكل 14.11(. يتكون من نصفى كرة مخيخية يمين ويسار متصلين بجسر ضيق يشبه الدودة يسمى الفيرميس.[23] يظهر كل نصف كرة طيات رفيعة وعرضية ومتوازية تسمى الفوليا[24] مفصولة بأخاديد ضحلة.

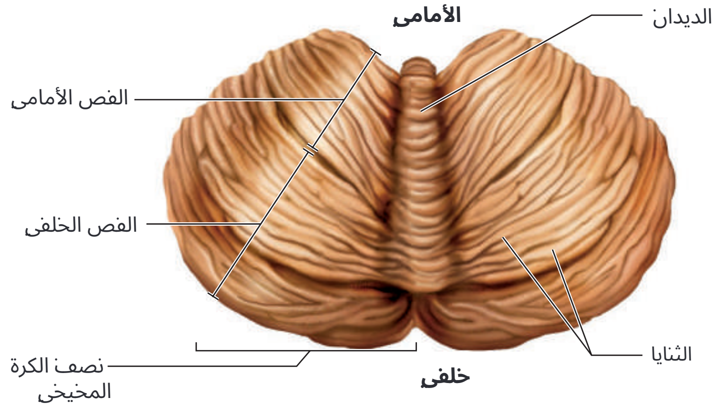
للمخيخ قشرة سطحية من المادة الرمادية وطبقة أعمق من المادة البيضاء. فى المقطع السهمى، تظهر المادة البيضاء نمطًا متفرعًا يشبه السرخس يُسمى **arbor vitae.**[25] يحتوى كل نصف كرة على أربع كتل من المادة الرمادية تُسمى النوى العميقة مضمنة فى المادة البيضاء. كل المدخلات إلى المخيخ تذهب إلى القشرة وكل مخرجاته تأتى من النوى العميقة.

[23] *verm* = دودة

[24] *foli* = ورقة

[25] شجرة = شجرة؛ *الحياة* = الحياة





الشكل 14.11 المخيخ.
(أ) مقطع وسطى، يُظهر العلاقة بجذع الدماغ.
(ب) منظر علوى. APR

الحكم الزمنى. جانب مهم من ضبط الوقت فى المخيخ هو القدرة على التنبؤ بمكان وجود جسم متحرك فى الثانية التالية تقريبًا. يمكنك تخيل أهمية هذا للمفترس الذى يطارد فريسته، أو للاعب التنس، أو أثناء قيادة السيارة فى حركة مرور كثيفة. يساعد المخيخ أيضًا فى التنبؤ بمدى حركة العينين للتعويض عن حركات الرأس والبقاء مركزة على جسم معين.

حتى السمع له بعض المكونات المفاجئة والجديدة المكتشفة فى المخيخ. تؤدى إصابات المخيخ إلى إضعاف قدرة الشخص على تمييز ا لفروق فى النغمة بين نغمتين والتمييز بين كلمات متشابهة فى الصو ت مثل *rabbit* و *rapid*. كما يشترك المخيخ فى إنتاج اللغة. إذا طُل ب من الشخص كلمة اسم مثل *apple* وفكر فى فعل مرتبط مثل *eat*، يظهر المخيخ نشاطًا أعلى فى تصوير PET مقارنةً بأن يُطلب منه فق ط تكرار كلمة *apple*.

الأشخاص الذين يعانون من إصابات فى المخيخ يواجهون أيضًا صعوبة فى التخطيط وتنظيم المهام. يميلون إلى ردود فعل عاطفية مفرطة ويواجهون صعوبة فى التحكم فى الاندفاعات. العديد من الأطفال المصابين بـ اضطراب نقص الانتباه مع فرط النشاط (ADHD) لديهم مخيخ صغير بشكل غير طبيعى.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

9. اذكر عدة وظائف حشوية يتحكم بها نوى النخاع المستطيل. ما الو ظيفة العامة التى ستفقد إذا تم قطع الأهرامات فى النخاع المس تطيل؟
10. اذكر عدة وظائف حسية وحركية للجسر.
11. ما هى الوظائف التى تؤديها التلال العلوية والسفلية؟ إلى أى جزء من جذع الدماغ تنتمى؟
12. أين يوجد التكوين الشبكى؟ عرّف التكوين الشبكى فى جملة واح دة.
13. اذكر عدة وظائف للمخيخ.

الفصوص وبعض من نوى المهاد الأمامية. يتم مناقشة دور المهاد في الدوائر الحركية والحسية بشكل أوسع لاحقًا في هذا الفصل والفصل 16.

الوطاء

يُشكّل الوطاء)انظر الشكل 14.2(قاع وجزءًا من جدران البطين الثالث. يمتد إلى الأمام حتى التصالب البصري)كي-آز-أم(، حيث تلتقي الأعصاب البصرية، وإلى الخلف حتى زوج من النتوءات تُسمى الأجسام الثديية[29]. الغدة النخامية متصلة بالوطاء بواسطة ساق)القمع(بين التصالب البصري والأجسام الثديية.

الوطاء هو المركز الرئيسي للتحكم في الجهازين الغدد الصماء والجهاز العصبي الذاتي. يلعب دورًا أساسيًا في التنظيم التوازني لمعظم أعضاء الجسم. تشمل نوى الوطاء مراكز معنية بمجموعة واسعة من الوظائف الحشوية، العاطفية، وحتى السلوكية)الشكل 14.12ب(:

- إفراز الهرمونات. يفرز الوطاء هرمونات تتحكم في الغدة النخامية الأمامية، وبالتالي تنظم النمو، الأيض، التكاثر، واستجابات التوتر.
  كما ينتج هرمونات تُخزن في الغدة النخامية الخلفية، وهي معنية بانقباضات الولادة، الرضاعة، وحفظ الماء. تُستكشف هذه العلاقات بشكل خاص في الفصل 17.

- التأثيرات الذاتية. الوطاء هو مركز تكاملي رئيسي للجهاز العصبي الذاتي. يرسل ألياقًا نازلة إلى نوى جذع الدماغ السفلي التي تؤثر على معدل ضربات القلب، ضغط الدم، إفرازات الجهاز الهضمي وحركته، وقطر الحدقة، من بين وظائف أخرى.

- تنظيم الحرارة. *منظم حرارة الوطاء* يتكون من مجموعة من الخلايا العصبية، تتركز بشكل خاص في النواة قبل البصرية، التي تراقب درجة حرارة الجسم. عندما تنحرف درجة الحرارة كثيرًا عن نقطة الضبط، يُفعّل هذا المركز آليات لخفض أو رفع درجة حرارة الجسم.

- تناول الطعام والماء. ينظم الوطاء إحساسات الجوع والشبع. تحتوي *النواة القوسية* بشكل خاص على مستقبلات لهرمونات تزيد من الجوع واستهلاك الطاقة، وهرمونات أخرى تقلل كلاهما، وهرمونات تمارس السيطرة طويلة الأمد على كتلة الجسم.

  تراقب خلايا عصبية في الوطاء تُسمى *مستقبلات الأسمولية* تركيز الأسمولية في الدم وتحفز السلوكيات المرتبطة بالبحث عن الماء والشرب عندما يكون الجسم مصابًا بالجفاف. كما يحفز الجفاف الوطاء على إنتاج هرمون مضاد لإدرار البول، الذي يحافظ على الماء عن طريق تقليل إخراج البول.
- النوم والإيقاعات اليومية. الجزء الخلفي من الوطاء هو جزء من التكوين الشبكي. يحتوي على نوى تنظم إيقاع النوم والاستيقاظ.
  فوق التصالب البصري، يحتوي الوطاء على *نواة فوق التصالبية* التي تتحكم في إيقاع نشاطنا اليومي)الإيقاع اليومي(لمدة 24 ساعة.

المخ الأمامي 14.4

نتائج التعلم المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. تسمية المكونات الثلاثة الرئيسية للدماغ البيني ووصف مواقعها ووظائفها؛
ب. تحديد الفصوص الخمسة للمخ ووظائفها؛
ج. وصف الأنواع الثلاثة من المسارات في المادة البيضاء للمخ؛
د. وصف أنواع الخلايا المميزة والترتيب النسيجي لقشرة المخ؛ و
هـ. وصف موقع ووظائف النوى القاعدية والجهاز الحوفي.

يتكون المخ الأمامي من الدماغ البيني والمخ النهائي. يحيط الدماغ البيني بالبطين الثالث ويقع مباشرةً أمام جذع الدماغ. يتطور الدماغ النهائي بشكل رئيسي إلى المخ.

14.4a الدماغ البيني

تنشأ ثلاث هياكل من الدماغ البيني الجنيني: المهاد)الثلاموس(، تحت المهاد)الهيبوثالاموس(، والدماغ فوق المهاد)الإبيثالاموس(.

المِهاد

كل جانب من الدماغ يحتوي على المِهاد[28]، كتلة بيضاوية الشكل تقع في النهاية العلوية لجذع الدماغ تحت نصف الكرة المخية)انظر الأشكال 14.17، 14.8، 14.6c(. يشكل المهادان حوالي أربعة أخماس الدِّياي نسيفالون. من الجانب الجانبي، يبرزان في البطينين الجانبيين. ومن الجانب الوسيط، يبرزان في البطين الثالث ويرتبطان ببعضهما البعض بواسطة جسر ضيق، وهو *الالتصاق بين المهادين*، في حوالي 70% من الناس.

يتكون المهاد من ما لا يقل عن ٣٢ نواة، تقع معظمها في خمس مجموعات: الأمامية، الخلفية، الوسطى، الجانبية، والبطنية. تُظهر هذه المجموعات ووظائفها في الشكل 14.12a.

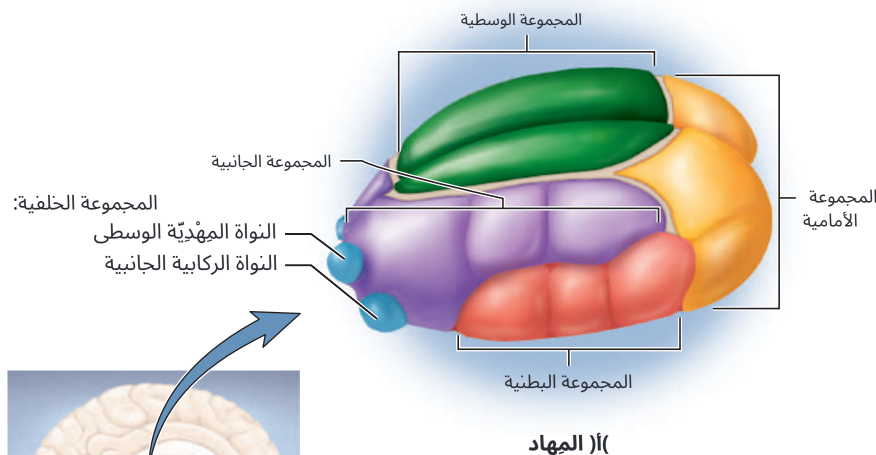
بشكل عام، يعتبر المِهاد "بوابة القشرة الدماغية". تمر تقريبًا جميع المدخلات إلى المخ عبر المشابك في نوى المِهاد، بما في ذلك الإشارات الخاصة بالتذوق، والسمع، والتوازن، والرؤية، والحواس العامة مثل اللمس، والألم، والضغط، والحرارة، والبرودة. تقوم نوى المِهاد بمعالجة هذه المعلومات، وتصفية جزء كبير منها، ثم تمرير جزء صغير منها إلى المناطق المناسبة في القشرة الدماغية.

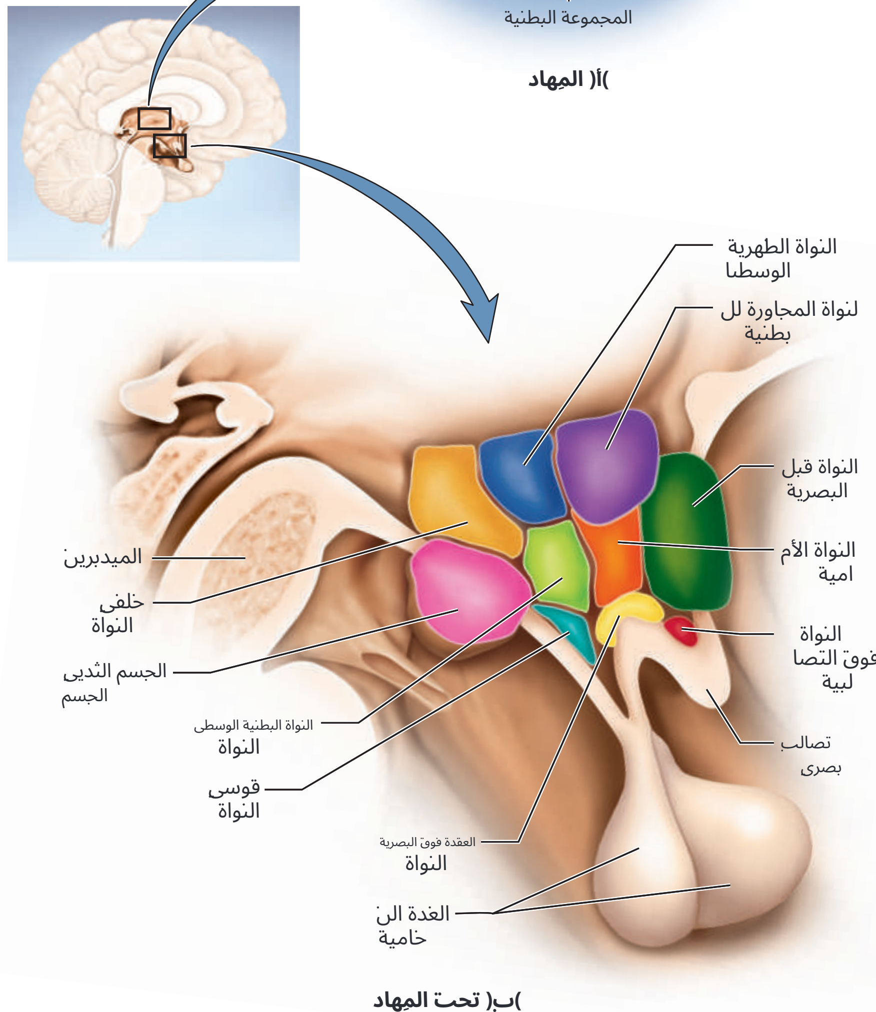
يعمل المهاد أيضًا في التحكم الحركي من خلال نقل الإشارات من المخيخ إلى المخ وتوفير حلقات تغذية راجعة بين قشرة المخ *والنوى القاعدية*)مراكز الحركة العميقة في المخ(. وأخيرًا، يشارك المهاد في وظائف الذاكرة والعواطف في *الجهاز الحوفي*، وهو مجموعة معقدة من الهياكل التي تشمل بعض قشرة المخ في الفص الصدغي والجبهي

---

[28] *المِهاد* = غرفة، غرفة داخلية

[29] *الحلمة* = الحلمة





	النوى المِخيّة
المجموعة الأمامية	جزء من الجهاز الحوفى؛ الذاكرة والعاطفة
المجموعة الوسطى	الإخراج العاطفى إلى القشرة الجبهية الأمامية؛ الوعى بالعواطف
المجموعة البطنية	المخرجات الحسية الجسدية إلى التلافيف بعد المركزية؛ إشارات من المخيخ والنوى القاعدية إلى المناطق الحركية فى القشرة
المجموعة الجانبية	المخرجات الحسية الجسدية إلى مناطق الترابط فى القشرة؛ تساهم فى الوظيفة العاطفية للجهاز الحوفى
المجموعة الخلفية	نقل الإشارات البصرية إلى الفص القذالى)عبر النواة المِهْديّة الجانبية(والإشارات السمعية إلى الفص الصدغى)عبر النواة المِهْديّة الوسطى(

	النوى تحت المهادية
النواة الأمامية	مركز العطش؛ تنظيم الحرارة
النواة القوسية	تنظم الشهية؛ تفرز هرمونات إطلاق تنظم الغدة النخامية الأمامية
النواة الظهرية الوسطى	الغضب ومشاعر أخرى؛ تنظيم النوم
الجسم الثديى	تعمل كحلقة وصل بين الجهاز الحوفى والمهاد؛ تشارك فى الذاكرة طويلة الأمد
النواة المجاورة للبطنية	ينتج الأوكسيتوسين)مرتبط بالولادة، والرضاعة، والنشوة(؛ يتحكم فى الغدة النخامية الخلفية
النواة الخلفية	تعمل مع المادة الرمادية المركزية فى الدماغ المتوسط فى التحكم العاطفى، القلبى الوعائى، والألم
النواة قبل البصرية	التحكم الهرمونى فى الوظائف التناسلية؛ يراقب درجة حرارة الجسم
النواة فوق التصالبية	الساعة البيولوجية؛ ينظم النوم، والإيقاعات اليومية الأخرى، ودورة التكاثر الأنثوية
النواة فوق البصرية	ينتج هرمون مضاد لإدرار البول)مرتبط بتوازن الماء(؛ يتحكم فى الغدة النخامية الخلفية
النواة البطنية الوسطى	تلعب أدوارًا فى أيض الجلوكوز والدهون، الشهية، تنظيم الحرارة، السلوك الجنسى، والعاطفة

الشكل 14.12 المخ بين الدماغ.)أ(نوى المهاد.)ب(نوى تحت المهاد. تم عرض بعض نوى المهاد وتحت المهاد فقط، وتم سرد بعض وظائفها. هذه القوائم ليست شاملة بأى حال من الأحوال. APR

بما فى ذلك الغضب، العدوان، الخوف، المتعة، والرضا؛ وفى الدافع الجنسى، الجماع، والنشوة الجنسية. قد يؤثر تحت المهاد حتى على التوجه الجنسى والجاذبية. أحد النوى، النواة البينية 3 من تحت المهاد الأمامى)INAH-3(، بحجم حبة رمل تقريبًا فى الذكور المغايرين. يكون أصغر بشكل ملحوظ فى النساء والذكور المثليين. ما إذا كان هذا سببًا أو نتيجة للتوجه الجنسى، أو مجرد ارتباط به، لا يزال غير مؤكد.

- الذاكرة. يحتوى كل جسم ثديى على ثلاثة أو أربعة نوى تعمل بشكل رئيسى على نقل الإشارات من الحُصين، وهو مركز ذاكرة مهم فى الدماغ، إلى المهاد. لذا، فهى مهمة فى الذاكرة، وتسبب الآفات فى نوى الجسم الثديى عجزًا فى الذاكرة.)للمزيد من المناقشة التفصيلية، انظر القسم 14.5د.(
- السلوك العاطفى والاستجابة الجنسية. تشارك مراكز تحت المهاد فى مجموعة متنوعة من الاستجابات العاطفية

يسمح طى سطح المخ إلى التلافيف بوجود كمية أكبر من القشرة لتتنا سب مع التجويف القحفى. تعطى التلافيف للمخ مساحة سطح تبلغ حوالى ٢٥٠٠ سم2. إذا كان سطح المخ أملسًا، لكان لديه فقط ثلث هذ ه المساحة وقدرة معالجة معلومات أقل بشكل نسبى. هذا الطى الوا سع هو أحد أكبر الفروقات بين الدماغ البشرى وأدمغة معظم الثدييات الأخرى الأقل تعقيدًا.

بعض التلافيف لها تشريح ثابت ومتوقع، فى حين أن البعض الآ خر يختلف من دماغ إلى آخر وحتى من نصف الكرة الأيمن إلى الأيسر فى نفس الشخص. تقسم أخاديد بارزة بشكل غير عادى كل نصف كرة إلى خمسة فصوص متميزة تشريحيًا ووظيفيًا، كما يلى. الأربعة الأولى مرئية على السطح وسميت على اسم العظام القحفية التى تغطيها؛ أ ما الفص الخامس
)القشرة الجزرية(غير مرئية من السطح.
من الصعب تلخيص وظائف فصوص الدماغ بطريقة بسيطة؛ فا لكثير من الوظائف مثل الرؤية، والذاكرة، والكلام، والعاطفة موزعة على عدة فصوص، وتساهم الفصوص المختلفة بجزء فقط من الوظيفة ال كلية. ومع هذا التحذير، تستعرض الشكل 14.13 والقائمة التالية التوز يع التشريحى للعديد من الوظائف الدماغية الرئيسية.

1. الفص الجبهى يقع مباشرة خلف العظم الجبهى، فوق العينين. من الجبهة، يمتد نحو الأسفل إلى أخدود عمودى متموح، وهو ا لأخدود المركزى. إنه مركز أفكارنا الواعية والمجردة؛ الذاكرة ال صريحة أو التصريحية)انظر القسم 12.6 هـ(؛ العمليات الم عرفية والعاطفية مثل المزاح، الدافع، التبصر، التخطيط، اتخاذ القرار، التحكم العاطفى، والحكم الاجتماعى.

المهاد العلوى

المهاد العلوى هو كتلة صغيرة تتكون بشكل رئيسى من الغدة الصنوبرية)وهى غدة صماء نوقشت فى الفصل 17(، والهابنولا)وهى محور من النظام الحوفى إلى الدماغ المتوسط(، وسقف رقيق فوق البطين الثالث)انظر الشكل 14.2أ(.

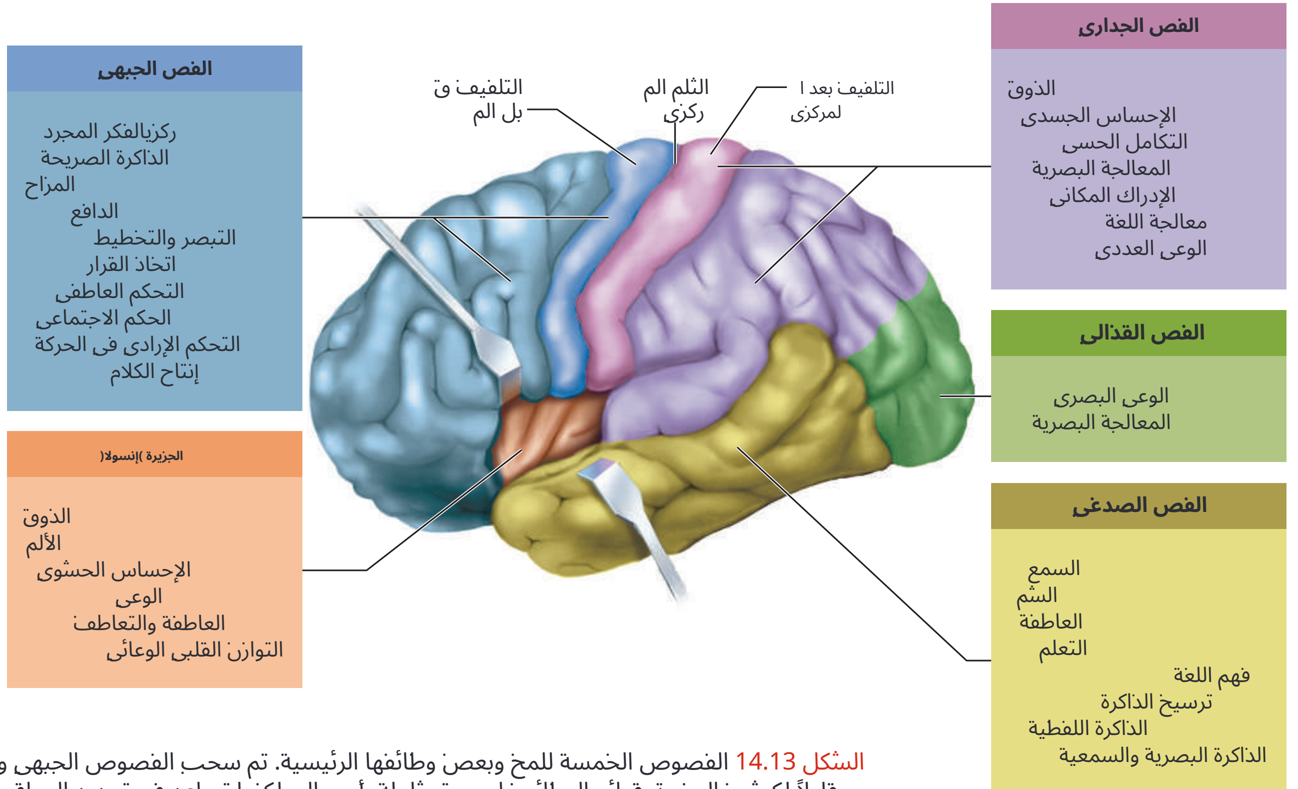
14.4ب المخ

يتحول الدماغ الأمامى الجنينى إلى المخ، وهو أكبر وأبرز جزء فى دماغ ا لإنسان. يتيح لك مخك أن تقلب أو تمرر هذه الصفحات، تقرأ وتفهم ا لكلمات، تتذكر الأفكار، تتحدث عنها مع أقرانك، وتجرى اختبارًا. إنه مر كز التحكم الإرادى فى الحركة وأبرز العمليات الذهنية التى تميز الإنسا ن. إنه أكثر المجالات تعقيدًا وتحديًا فى علم الأعصاب.

التشريح العام

يهيمن المخ بشكل كبير ويخفى الهياكل الأخرى لدرجة أن الناس غالبًا ما يظنون أن "المخ" و"الدماغ" مترادفان. تم وصف المعالم التشريحية الرئيسية له فى بداية هذا الفصل ويجب مراجعتها إذا لزم الأمر)انظر ا لأشكال 14.1 و14.2(؛ والأهم من ذلك هما نصفى الكرة المخية، الم فصولان بواسطة الشق المخى الطولى ولكن متصلان بواسطة حزمة أ لياف بارزة، وهى الجسم الثفنى؛ والتجاعيد الواضحة، أو التلافيف، لك ل نصف كرة، مفصولة بالأخاديد المسماة الشقوق.

[30]*haben* = strap, rein; *ula* = little



الشكل 14.13 الفصوص الخمسة للمخ وبعض وظائفها الرئيسية. تم سحب الفصوص الجبهى والصدغى قليلاً لكشف الجزيرة. قوائم الوظائف ليست شاملة بأى حال، لكنها تساعد فى تحديد المواقع التشريح ية للوظائف الرئيسية التى نوقشت فى هذا الفصل.

APR

السلوك المناسب؛ وفى إنتاج الكلام والسيطرة الإرادية على ما
يقرب من جميع عضلات الهيكل العظمى فى الجسم.

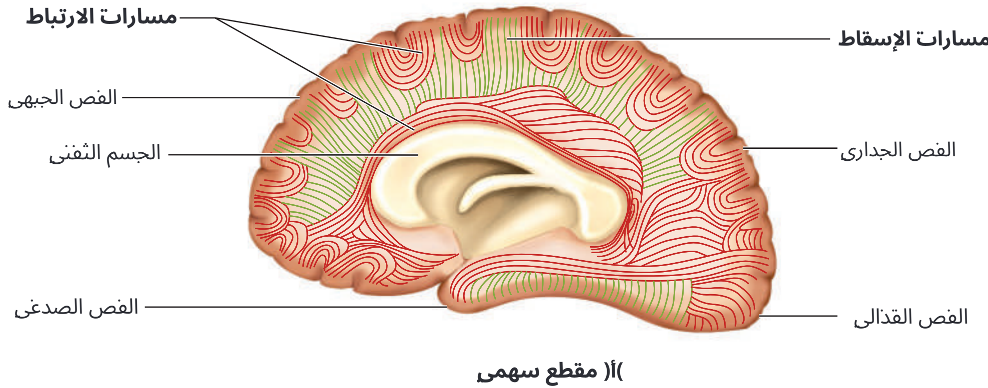
2. الفص الجدارى يشكل الجزء العلوى من الدماغ ويقع تحت عطم ا
لجدارى. يبدأ من الأخدود المركزى ويمتد نحو الخلف حتى الأخ
دود الجدارى القذالى، المرئى على السطح الوسيط لكل نصف
كرة دماغية)انظر الشكل 14.2(. وهو معنى بالتذوق، والإحسا
س الجسدى)مثل اللمس، والحرارة، والألم(، والمعالجة البصرية؛
والتكامل متعدد الحواس مثل ربط المشاهدات والأصوات ل
فهم عالمنا الحسى بشكل كلى؛ والإدراك المكانى والوعى باتجاه ا
لجسم؛ ومعالجة اللغة؛ والوعى العددى)الإحساس بكمية الأشياء
التى نراها أمامنا(.

3. الفص القذالى يقع فى مؤخرة الرأس، خلف الأخدود الجدارى ا
لقذالى وتحت عظم القذالى.
هو المركز البصرى الرئيسى فى الدماغ، حيث ندرك أولاً المحفزا
ت البصرية ونعالجها لتحديد ما نراه.

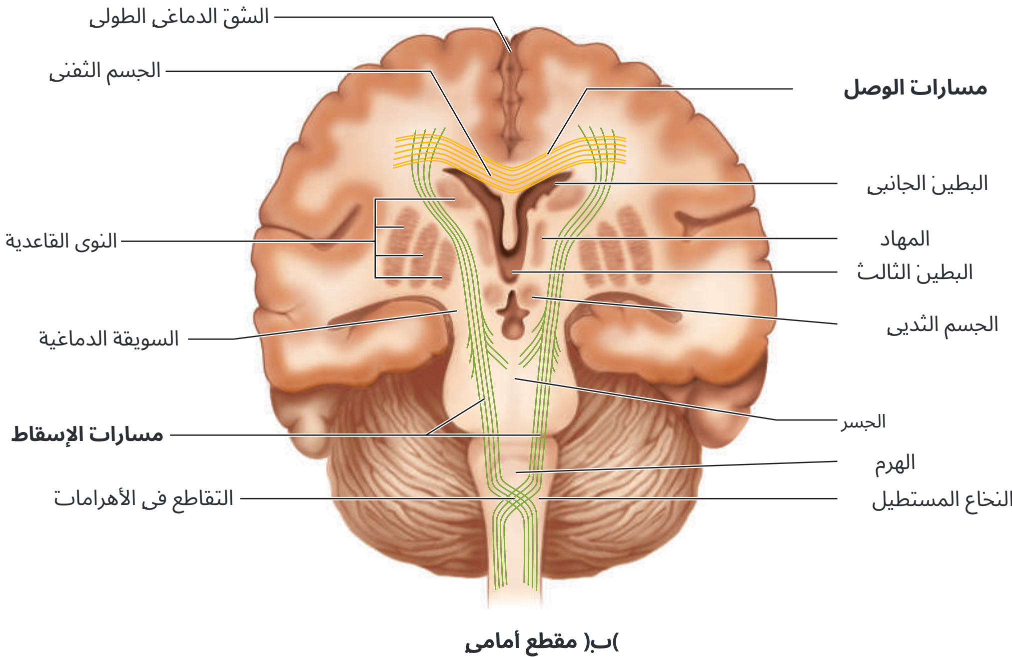
الفص الصدغى هو فص جانبى أفقى يقع عميقاً تحت عظم الصد
غ، ويفصله عن الفصوص الجبهى والجدارى من الأعلى أخدو
د جانبى عميق. وهو معنى بالسمع؛ والشم؛ والعاطفة؛ والتعلم؛ و
فهم اللغة والذاكرة المتعلقة بقواعد ومفردات اللغات التى نتحد
ثها؛ وترسيخ الذاكرة)تكوين ذكريات طويلة الأمد جديدة(؛ و
تخزين الذكريات اللفظية والبصرية والسمعية.

5. الجزيرة هى كتلة صغيرة من القشرة تقع عميقاً تحت الأخدو
د الجانبى، ولا تظهر إلا عند سحب أو قطع جزء من المخ العلوى)
انظر الأشكال 14.6c و14.17(. تلعب أدواراً فى التذوق؛ وا
لألم؛ والإحساس الحشوى؛ والوعى؛ والاستجابات العاطفية وال
تعاطف)الوعى المتعاطف بمشاعر الآخرين(؛ والحفاظ على التواز
ن القلبى الوعائى)مثل استجابات معدل ضربات القلب وضغط ا
لدم أثناء التمرين(.

[31] الجزيرة = الجزيرة



)أ(مقطع سهمى



)ب(مقطع أمامى

الشكل 14.14 مسارات المادة البيضاء الدماغية.)أ(مقطع سهمى يُظهر مسارات الارتباط والإسقاط.)ب(مقطع أمامى
يُظهر المسارات الاتصالية ومسارات الإسقاط.

ما المسار الذى يمكن أن تسلكه المسارات الاتصالية بين نصفى الكرة المخية الأيمن والأيسر بخلاف المسار الموضح هنا؟

أدوارها، تربط مسارات الارتباط مراكز الإدراك والذاكرة فى الد ماغ؛ على سبيل المثال، تمكنك من رؤية وردة، وتسميتها، و تخيل رائحتها.

القشرة المخية

يتم تنفيذ التكامل العصبى فى المادة الرمادية للمخ، والتى توجد فى ثلاثة أماكن: القشرة المخية، والعقد القاعدية، وجهاز الحوف. نبدأ بـ ال قشرة المخية،[33] وهى طبقة تغطى سطح نصفى الكرة)انظر الشكل 1 4.6ح(. على الرغم من أن سمكها لا يتجاوز 2 إلى 3 مم، تشكل القشرة حوالى 40% من كتلة الدماغ وتحتوى على 14 إلى 16 مليار خلية عص بية. تحتوى على نوعين رئيسيين من الخلايا العصبية)الشكل 14.15(تسمى الخلايا النجمية و الخلايا الهرمية. الخلايا النجمية لها أجسام خلوية كروية مع محاور قصيرة وتفرعات شجرية تمتد فى جميع الاتجاه ات. تتعلق بشكل كبير باستقبال المدخلات الحسية ومعالجة المعلوما ت على المستوى المحلى. الخلايا الهرمية طويلة ومخروطية الشكل. يشير قمتها نحو سطح الدماغ ولها تفرع شجرى سميك مع العديد من الفروع والشوكات الشجرية الصغيرة والمتكتلة)انظر الشكل 12.5أ وا لصورة فى صفحة افتتاح الفصل 12(. ينشأ من القاعدة تفرعات شجر ية جانبية ومحور عصبى يمر إلى المادة البيضاء فى الأسفل.تشمل الخ لايا الهرمية الخلايا العصبية المخرجة للمخ — وهى الخلايا العصبية الو حيدة فى المخ التى تترك القشرة وتتصل بأجزاء أخرى من الجهاز الع صبى المركزى. لمحاور الخلايا الهرمية تفرعات جانبية تشكل نقاط ت شابك عصبى مع خلايا عصبية أخرى فى القشرة أو فى مناطق أعمق م ن الدماغ.

حوالى 90% من القشرة المخية البشرية هى نسيج مكون من س ت طبقات يُسمى القشرة الجديدة[34] بسبب أصلها التطورى الحديث نسبياً. على الرغم من وجود الفقاريات منذ حوالى 600 مليون سنة، لم تتطور القشرة الجديدة بشكل كبير إلا منذ حوالى 60 مليون سنة، عند ما حدث زيادة حادة فى تنوع

[33] *قشرة* = لحاء، قشرة
[34] *نيو* = جديد

المادة البيضاء الدماغية

معظم حجم المخ هو مادة بيضاء. تتكون هذه من الخلايا الدبقية الع صبية والألياف العصبية الميالينية التى تنقل الإشارات من منطقة إلى أخرى فى المخ وبين المخ والمراكز الدماغية السفلى. تعطى الميالينة ا لكثيفة للمادة البيضاء مظهرًا أبيض لامعًا، شبيهًا باللؤلؤ، على عكس ا لمادة الرمادية الأكثر كآبة)انظر الشكل 14.17(. تشكل هذه الألياف حز مًا، أو *مسارات* من ثلاثة أنواع)الشكل 14.14؛ انظر أيضًا صورة بداية ا لفصل(:

1. تمتد مسارات الإسقاط عمودياً بين مراكز الدماغ العليا وال سفلى والحبل الشوكى. تنقل المعلومات بين المخ وبقية الجس م. على سبيل المثال، تحمل مسارات القشرية الشوكية الإشا رات الحركية من المخ إلى جذع الدماغ والحبل الشوكى. وتحم ل مسارات الإسقاط الأخرى الإشارات صعوداً إلى القشرة المخ ية. تشكل هذه المسارات الأخيرة طبقة عريضة وكثيفة تُسمى ا لكبسولة الداخلية بين المهاد والعقد القاعدية)التى سيتم وص فها لاحقاً(، ثم تتشعب فى نمط متباعد يشبه المروحة)تُسمى *التاج الشعاعى* *التاج الشعاعى*[32](إلى مناطق محددة من القشرة.
2. تعبر مسارات الوصل من نصف كرة دماغى إلى الآخر عبر جسور تُسمى الوصلات (COM-ih-shurs). تمر الغالبية العظ مى من مسارات الوصل عبر الجسم الثفنى الكبير)انظر الشكل 14.2(. يمر عدد قليل منها عبر الوصلات الأمامية و الخلفية ا لصغيرة جداً. تمكّن مسارات الوصل جانبى المخ من التواص ل مع بعضهما البعض.
3. تربط مسارات الارتباط مناطق مختلفة داخل نفس نصف الكرة ا لدماغى. *تربط الألياف الارتباطية الطويلة* فصوصاً مختلفة من ن فس النصف، مثل ربط الفص القذالى بالفص الصدغى. *تربط الألياف الارتباطية القصيرة* التلافيف المختلفة داخل فص وا حد. من بين

[32] *كورونا* = التاج؛ *راديانا* = متشعّب



نظرة أعمق 14.3

التطبيق السريرى

تتبع مسارات المادة البيضاء

تم التقاط صورة افتتاح هذا الفصل باستخدام تطبيق حديث نسبيًا لتصوير الرنين ا لمغناطيسى (MRI) يُسمى تصوير الانتشار بالتنسور (DTI). DTI هو طريقة لاكتشا ف انتشار جزيئات الماء لتتبع حزم متوازية من الألياف العصبية المغلفة بالميلين فى المادة البيضاء للجهاز العصبى المركزى. فى معظم الأماكن، يكون انتشار الماء عشوائيًا ولا يولد إشارة مفيدة. ومع ذلك، فإن المسارات المتوازية للألياف العصبي ة والتأثير العازل لأغشية الميلين الخاصة بها تعطى اتجاهًا للانتشار، حيث ينتشر ا لمزيد من الماء على طول الألياف العصبية أكثر من انتشاره عبرها. يقوم الحاسوب بترميز اتجاهات الانتشار بالألوان لعرض المسارات التى تمر بين نصفى الدماغ بال لون الأحمر، والمسارات الأمامية-الخلفية باللون الأخضر، والمسارات العلوية-الس فلية باللون الأزرق.

يُطلق على رسم خرائط مسارات الألياف بواسطة DTI اسم تصوير المسارات العص بية (tractography). أكثر المسارات التى تم رسمها هو المسار القشرى الشوكى (corticospinal tract)، وهو المسار الرئيسى للإخراج للتحكم الدماغى فى الع ضلات. المسار الثانى من حيث الأهمية يُسمى الحزمة القوسية (arcuate fasciculus)، التى تربط منطقتى فيرنيك وبروكا للحديث)انظر القسم 14.5h(. الهدف النهائى من ت صوير مسارات الدماغ هو تحديد الخريطة الكاملة للوصلات الدماغية (connectome)، و هى خريطة كاملة للاتصالات الفيزيائية (الدارات) بين مناطق الدماغ.

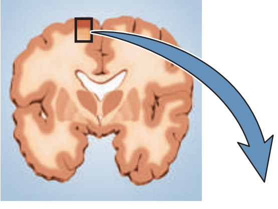
تعود تقنية التصوير بالرنين المغناطيسى الانتشارى (DTI) إلى التسعينيات لك نها اكتسبت تطبيقاً على المرضى الأحياء مؤخراً فقط، مما يجعلها طريقة تصوير ح ساسة للغاية للأمراض العصبية. أكبر استخدام سريرى لها حتى الآن هو تقييم الس كتة الدماغية الإقفارية الحادة، والثانى فى تشخيص أورام الدماغ وتأثيراتها على الح ركة واللغة والرؤية. يستخدم الجراحون العصبيون DTI لتحديد مواقع الأورام والآفا ت التى لا تظهر فى التصوير بالرنين المغناطيسى التقليدى. هذا يمكّن الجراح من استهداف المنطقة المصابة بدقة وتجنب إصابة المسارات الحرجة المجاورة. كما أ نها مفيدة فى مراقبة نضوج الميالين عند الأطفال، والتغيرات التنكسية فى الشيخ وخة، وتقدم أمراض إزالة الميالين مثل التصلب المتعدد، ومدى إصابات الدماغ الر ضحية (TBI)، واستجابات الدماغ للعلاج.

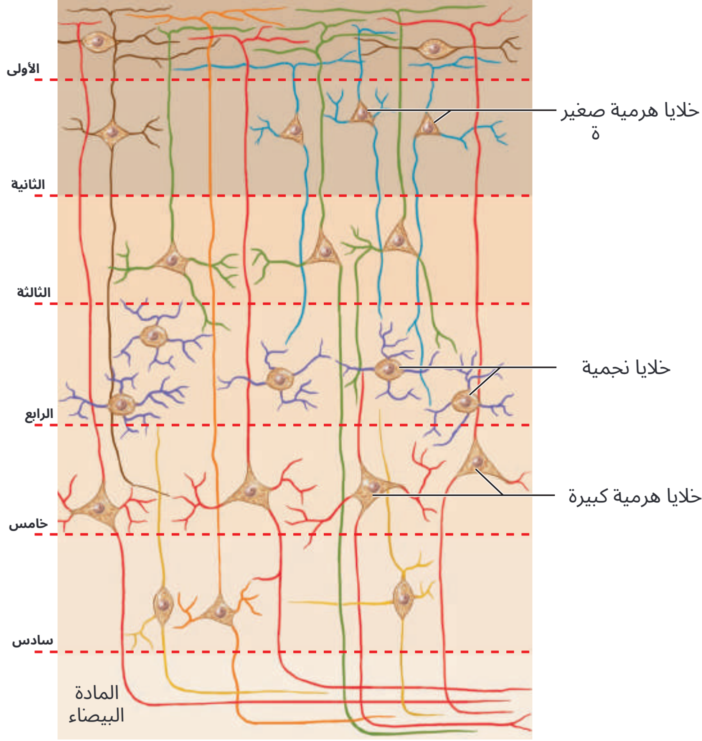
لقد وجد تطبيقات سريرية أيضًا فى مرض الزهايمر، والصرع، والتوحد، وإدمان الكو كايين. يأمل الأطباء أن يثبت أنه مفيد فى التنبؤ بمسار الأمراض—توقع تطورها ل لسماح بالتدخل المبكر والأكثر فعالية. كما تم استخدام التصوير بالرنين المغناطي سى الانتشارى (DTI) فى تقييم عضلة القلب، وأمراض البروستاتا، والإصابات الر ياضية للعضلات والأوتار.

الثدييات. وصلت إلى أعلى مراحل تطورها بكثير فى الرئيسيات.
تختلف الطبقات الست للقشرة الجديدة، المرقمة فى الشكل 14.15، من جز
ء إلى آخر من المخ من حيث السمك النسبى، وتركيب الخلايا، والاتصالات ا
لمشبكية، وحجم الخلايا العصبية، ووجهة محاورها العصبية. على سبيل الم
ثال، الطبقة الرابعة هى الأسمك فى المناطق الحسية، والطبقة الخامسة فى
المناطق الحركية. جميع المحاور العصبية التى تخرج من القشرة وتدخل الماد
ة البيضاء تنشأ من الطبقات الثالثة والخامسة والسادسة.
بعض مناطق قشرة المخ تحتوى على عدد أقل من الطبقات. أقدم
نوع من القشرة ظهر فى تطور الفقاريات كان نسيجًا مكونًا من طبقة إلى
خمس طبقات يسمى القشرة القديمة (paleocortex)، والمحدود فى
البشر بجزء من الجزيرة وبعض مناطق الفص الصدغى المرتبطة بالشم. ا
لنوع التالى فى التطور كان القشرة القوسية (archicortex) (المكونة من
ثلاث طبقات، الموجودة فى الحصين البشرى، وهو مركز تكوين الذاكرة
فى الفص الصدغى. أما القشرة الجديدة (neocortex) فكانت آخر ما ت
طور.

الجهاز الحوفى

يُعد الجهاز الحوفى مركزًا هامًا للعاطفة والتعلم.
هو حلقة من الهياكل على الجانب الإنسى لكل نصف كرة دماغية، تح
يط بجسم الثفينة والمهاد. أبرز مكوناته هو التلم الحزامى (cingulate
gyrus) الذى يقوس فوق جسم الثفينة فى الفص ال
جبهى والفص الجدارى؛ و الحصين (hippocampus) فى الفص ال
صدغى الإنسى (الشكل 14.16)؛ و اللوزة الدماغية (amygdala) الوا
قعة أمام الحصين مباشرة، أيضًا فى الفص الصدغى. لا يزال هناك اخ
تلاف فى الرأى حول الهياكل التى تُعتبر جزءًا من الجهاز الحوفى، لكن
هذه الثلاثة متفق عليها. تشمل المكونات الأخرى الأجسام الثديية ونو
ى تحت المهاد، وبعض نوى المهاد، وأجزاء من النوى القاعدية، وأجزاء
من الفص الجبهى تسمى القشرة قبل الجبهية و القشرة المدارية الح
بهية. ترتبط مكونات الجهاز الحوفى من خلال حلقة معقدة من حزم الأ
لياف تسمى بـ

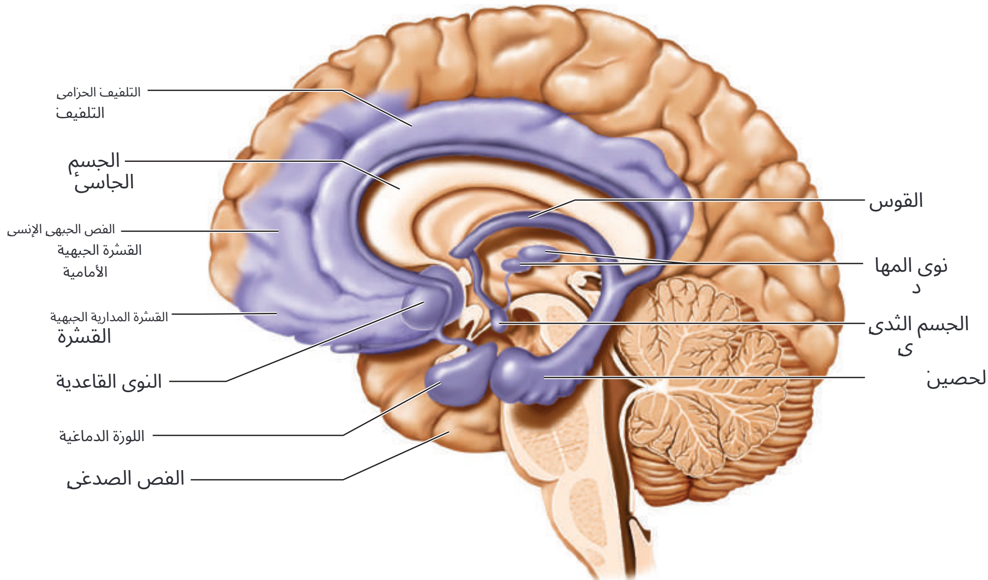




الشكل 14.15 علم الأنسجة للقشرة الجديدة. تُرتب الخلايا العصبية فى ست طبقات. قارن مع الصورة الافتتاحية للفصل 12.

لاحظ العمليات الطويلة التى تمتد لأعلى من جسم كل خلية هرمية. هل هذه محاور عصبية أم تفرعات شجرية؟ اشرح إجابتك.

[35] *ليمبوس* = الحدود
[36] *الحزام* = الحزام
[37] *الحصين* = فرس البحر، سُمى بهذا الاسم لشكلها
[38] *اللوزة الدماغية* = اللوزة



الشكل 14.16 الجهاز الحوفى. يشمل هذا الحلق من البُنى (الموضح باللون البنفسجى) مراكز مهمة للتعلم والعاطفة. فى الفص الجبهى، لا يوجد حد أمامى واضح لمكونات الجهاز الحوفى.

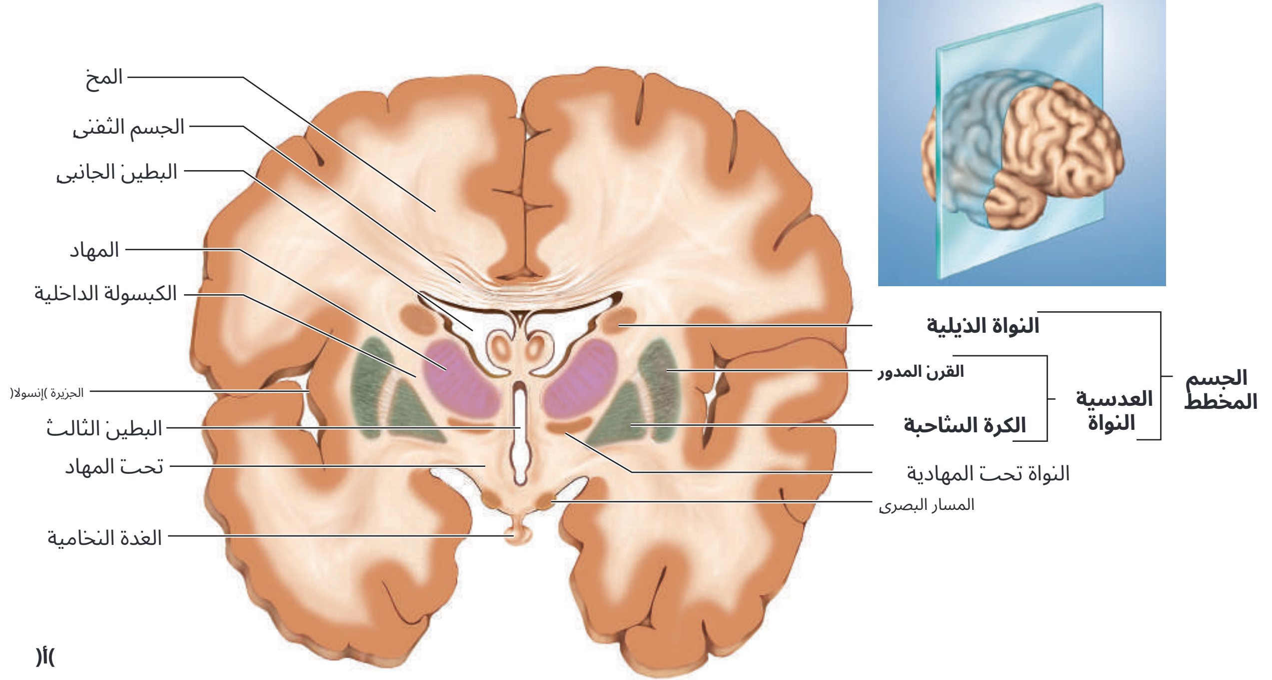
الإحساسات مثل الخوف أو الحزن. تهيمن مراكز المكافأة على بعض الهياكل الحوفية، مثل *النواة المتكئة* (غير موضحة)، بينما تهيمن مراكز النفور على أخرى مثل اللوزة الدماغية. تُوصف أدوار اللوزة الدماغية في العاطفة والحصين في الذاكرة في القسم 14.5د–هـ.

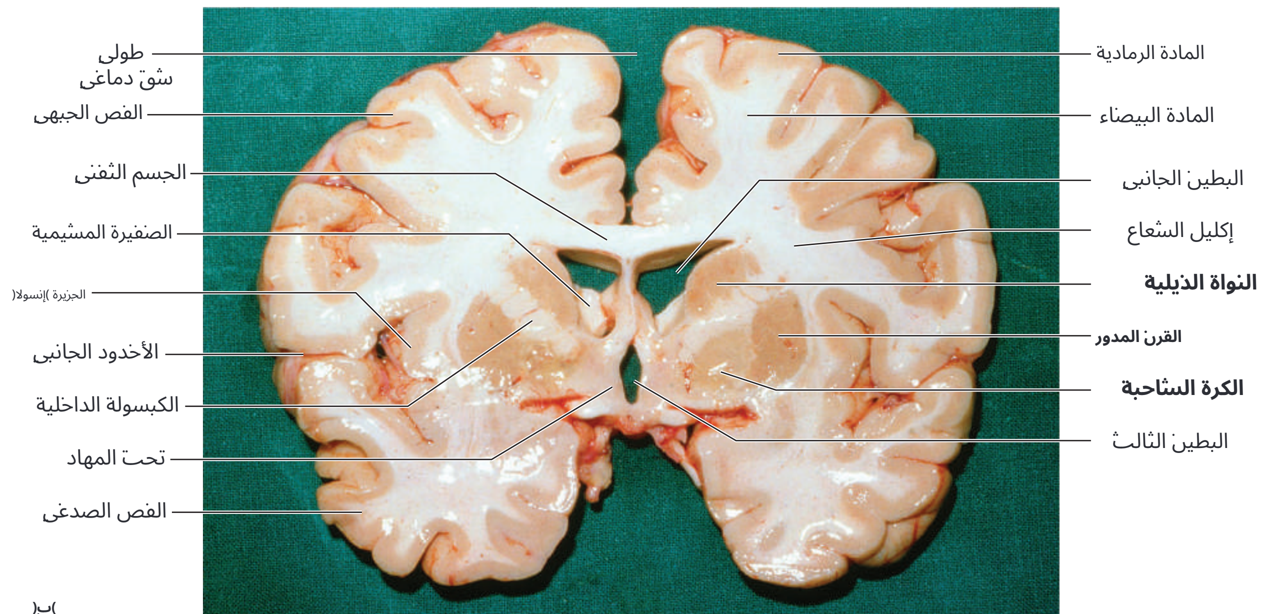
أنماط دائرية إلى حد ما من التغذية الراجعة بين أنويتها وخلايا القشرة ا لعصبية. جميع هذه الهياكل مزدوجة الجانب؛ هناك نظام حوفي في كل نصف كرة دماغية.

كان يُعتقد منذ زمن طويل أن النظام الحوفي مرتبط بالرائحة بس بب ارتباطه الوثيق بمسارات الشم، ولكن بدءًا من أوائل القرن العشر ين وحتى الآن، أظهرت التجارب بشكل واسع أدوارًا أكثر أهمية في العا طفة والذاكرة. تحتوي معظم هياكل النظام الحوفي على مراكز لكل من المكافأة والنفور. يؤدي تحفيز مركز المكافأة إلى شعور بالمتعة؛ أما تح فيز مركز النفور فينتج عنه شعور بعدم الارتياح

النوى القاعدية

النوى القاعدية هي كتل من المادة الرمادية الدماغية مدفونة عميقًا ف ي المادة البيضاء، بجانب المهاد (الشكل 14.17). وغالبًا ما تكون





الشكل 14.17 النوى القاعدية. (أ) مقطع أمامي للدماغ. (ب) شريحة مقابلة من نسيج دماغي طازج. النوى القاعدية مُعلّمة بالخط العريض. APR

الصورة: Biophoto Associates/Science Source

حصريًا؛ فهى تنطوى على تفاعلات بين قشرة المخ ومناطق مثل النو ى القاعدية وجذع الدماغ والمخيخ. فى العديد من الحالات، من المس تحيل تحديد هذه الوظائف لمنطقة دماغية محددة؛ كما رأينا سابقًا، لا تمتلك وظائف الدماغ حدودًا تشريحية محددة بسهولة. بعض الوظائ ف تتداخل تشريحيًا وبعضها يعبر الحدود التشريحية من منطقة إلى أ خرى، وغالبًا إلى مناطق بعيدة. لذلك، سنعتبر هذه الوظائف وظائف تكاملية للدماغ، مع التركيز بشكل خاص على المخ، ولكن فى كثير من الحالات تشمل العمل المشترك لمستويات متعددة من الدماغ. بع ض هذه الوظائف تمثل أصعب التحديات فى علم الأعصاب، لكنها الأ كثر إثارة للاهتمام وتشمل أكبر مناطق الدماغ.

14.5أ تخطيط الدماغ الكهربائى

لأغراض البحث والسريرية، من الشائع مراقبة النشاط الكهربائى المس مى موجات الدماغ. يتم تسجيلها باستخدام أقطاب كهربائية على فروة الرأس)الشكل 14.18أ(، وهى تغييرات جهد إيقاعية ناتجة بشكل رئ يسى عن جهد ما بعد المشبكى متزامن)وليس جهد الفعل(فى الطبقا ت السطحية من قشرة المخ. يُطلق على التسجيل اسم تخطيط الدما غ الكهربائى[44] (EEG)، وهو مفيد فى دراسة وظائف الدماغ الطبيعية م ثل النوم والوعى، وفى تشخيص أمراض الدماغ التنكسية، والاضطرابا ت الأيضية، وأورام الدماغ، والصدمات، وما إلى ذلك. ترتبط حالات الو عى التى تتراوح من اليقظة العالية إلى النوم العميق بتغيرات فى تخط يط الدماغ الكهربائى. الغياب الكامل والمستمر لموجات الدماغ هو مع يار سريرى وقانونى شائع لموت الدماغ.

هناك أربعة أنواع من موجات الدماغ)الشكل 14.18ب(، متميزة باختلافات فى السعة)mV(والتردد. التردد يُعبّر عنه بالهرتز)Hz(، أو الدورات فى الثانية:

1. موجات ألفا)α(لها تردد يتراوح بين 8 إلى 13 هرتز ويتم تسج يلها بشكل خاص فى المنطقة الجداريّة القذاليّة. تهيمن ع لى تخطيط الدماغ الكهربائى)EEG(عندما يكون الشخص م ستيقظًا ومسترخيًا، مع إغلاق العينين وتجول الذهن. تُثبط هذه الموجات عندما يفتح الشخص عينيه، أو يتلقى تحفيزًا حس يًا محددًا، أو يشارك فى مهمة ذهنية مثل القراءة أو إجراء الح سابات الرياضية. وهى غائبة أثناء النوم العميق.
2. موجات بيتا)β(لها تردد يتراوح بين 14 إلى 30 هرتز وتحدث فى المنطقة من الجبهة إلى الجدارية. تزداد هذه الموجات أثناء ا لنشاط الذهنى والتحفيز الحسى.
3. موجات ثيتا)θ(لها تردد يتراوح بين 4 إلى 7 هرتز. هى طبيع ية عند الأطفال وفى البالغين النعسانين أو النائمين، لكن سيطرة موجات ثيتا فى البالغين المستيقظين تشير إلى ال توتر العاطفى أو اضطرابات الدماغ.
4. موجات دلتا)δ(هى "موجات بطيئة" ذات سعة عالية وتردد أقل من 3.5 هرتز. يظهر الأطفال موجات دلتا أثناء اليقظة، و يظهرها البالغون أثناء النوم العميق. سيطرة موجات دلتا فى البالغين المستيقظين تدل على تلف دماغى خطير.

---

[44] *إلكترون* = كهرباء؛ *إنسيفالو* = دماغ؛ *غرام* = تسجيل

لقاعدية، لكن هذا الكتاب يقتصر فى استخدام كلمة *العقدة* على مجموعات م ن الخلايا العصبية خارج الجهاز العصبى المركزى. يختلف علماء التشريح الع صبى حول عدد مراكز الدماغ التى تُصنف كأنوية قاعدية، لكنهم يتفقون على و جود ثلاثة على الأقل: النواة الذيلية،[39] القرن المدور[40] (pyu-TAY-men)، والنو اة الشاحبة.[41] تُسمى هذه الثلاثة مجتمعة *الجسم المخطط*[42] بسبب مظهرها المخطط. يُطلق على القرن المدور والنواة الشاحبة معًا أيضًا *النواة العدسية*[43]، لأنهما يشكلان جسمًا على شكل عدسة. تشارك هذه الأجزاء فى التحكم الحر كى وسيتم مناقشتها بشكل أوسع فى قسم لاحق حول هذا الموضوع.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

14. ما هى المكونات الثلاثة الرئيسية للدماغ البينى؟ أى بطين يغلفه ا لدماغ البينى؟
15. ما هو دور المهاد فى الوظيفة الحسية؟
16. اذكر على الأقل ست وظائف للوطاء.
17. سمِّ الفصوص الخمسة للمخ ووصِف مواقعها وحدودها ووظائفها الرئيسية.
18. ميِّز بين المسارات الاتصالية)الوصالية(، ومسارات الارتبا ط، ومسارات الإسقاط فى المخ.
19. أين يقع الجهاز الحوفى؟ ما هو المكون الذى يشارك فى العاطفة؟ وما هو المكون الذى يشارك فى الذاكرة؟
20. أين تقع النوى القاعدية؟ وما هى وظيفتها العامة؟

الوظائف التكاملية للدما غ 14.5

نتائج التعلم المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. سرد أنواع موجات الدماغ ومناقشة علاقتها بالحالات الذهنية؛

ب. وصف مراحل النوم، وعلاقتها بموجات الدماغ، والآليات الع صبية للنوم؛

ج. تحديد مناطق الدماغ المعنية بالوعى والتفكير، والذاكرة، والعاطفة، والإحساس، والتحكم الحركى، واللغة؛ و

د. مناقشة الفروقات الوظيفية بين نصفى الكرة المخية الأيمن والأ يسر.

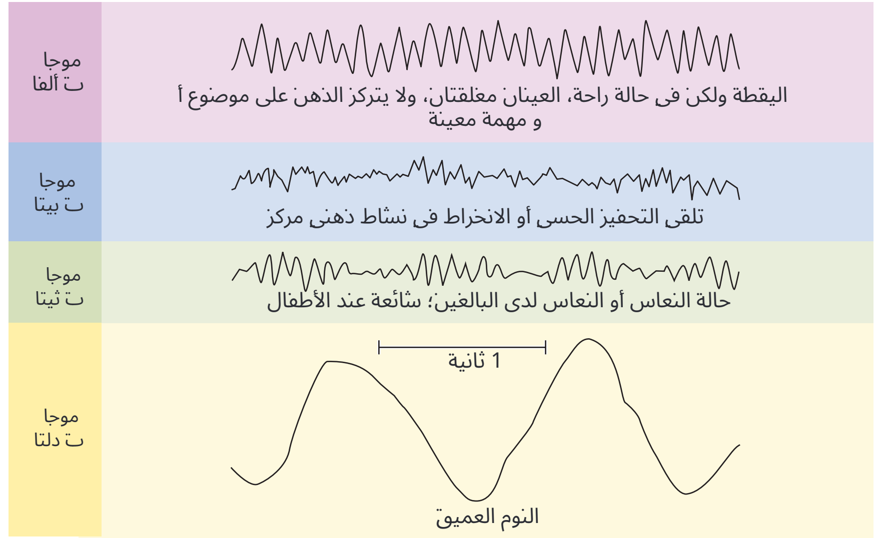
يتعلق هذا القسم بوظائف الدماغ "العليا" مثل النوم، والذاكرة، والإدرا ك، والعاطفة، والإحساس، والتحكم الحركى، واللغة. هذه مرتبطة بشكل خاص بالقشرة الدماغية، ولكن ليس

---

[39] *المُذَنَّب* = ذو ذيل، يشبه الذيل
[40] *المُخَطَّط* = قرن، قشرة
[41] *الكرة* = كرة، كُرَة؛ *الشاحب* = شاحب
[42] *الجسم* = جسم؛ *المخطط* = شريط
[43] *العدسة* = عدسة؛ *الشكل* = شكل



)أ(



)ب(

الشكل ٨١.٤١ تخطيط الدماغ الكهربائى)EEG(.)أ(يتم تسجيل تخطيط الدماغ الكهربائى من أقطاب كهربائية على الجبهة وفروة الرأس.)ب(تُرى أربع فئات من موجات الد ماغ فى تخطيطات الدماغ الكهربائى.

أ: لارى مولفهيل / مصدر العلوم

14.5ب النوم

يمكن تعريف النوم على أنه فقدان مؤقت وقابل للانعكاس للوعى، يم كن الاستيقاظ منه عند التحفيز)على عكس الغيبوبة(. وهو أحد العديد من وظائف الجسم التى تحدث فى دورات تُسمى الإيقاعات اليومية (circadian rhythms)[45]، وسُميت بذلك لأنها تتميز بحدوث أحدا ث تتكرر بفواصل زمنية تقارب 24 ساعة. يشبه النوم ظاهريًا حالات فقدان الوعى المطولة الأخرى مثل الغيبوبة وسبات الحيوانات، إلا أن ا لأفراد لا يمكن إيقاظهم من تلك الحالات بواسطة التحفيز الحسى.

يحدث النوم فى مراحل مميزة يمكن التعرف عليها من خلال التغيرات فى تخطيط الدماغ الكهربائى)EEG(. فى أول 30 إلى 45 دقيقة، تنخفض ترد دات موجات EEG ولكن تزداد سعتها مع مرور الشخص عبر أربع مراحل للنوم)الشكل 14.19(:

- المرحلة 1. تستمر هذه المرحلة عادة من 1 إلى 7 دقائق. يشعر ا لشخص بالنعاس، ويغلق عينيه، ويبدأ فى الاسترخاء. ينتقل تخطي ط الدماغ الكهربائى من موجات ألفا إلى موجات ذات تردد مختلط. تتلاشى الأفكار وتظهر أحيانًا مع شعور بالانجراف. يمكن الا ستيقاظ بسهولة إذا تم التحفيز.
- المرحلة 2. تستمر هذه المرحلة عادة من 10 إلى 25 دقيقة فى دورة النوم الأولى. يدخل الشخص فى نوم خفيف. تكون موجا ت الدماغ ذات تردد أقل ولكن جهد أعلى. تظهر أحيانًا لفترات 1 أو 2 ثانية *مغازل النوم*، وهى قمم عالية تنتج عن تفاعلا ت بين خلايا العصبونات فى المهاد والقشرة الدماغية.
- المرحلة 3. هذا هو نوم متوسط إلى عميق، يبدأ عادة بعد حوالى 20 دقيقة من المرحلة 1. تحدث مغازل النوم بشكل أقل غالبًا، وتظهر موجات ثيتا ودلتا. تسترخى العضلات، وتنخفض *ا لعلامات الحيوية*)درجة حرارة الجسم، *ضغط الدم*، ومعدلات ا لقلب والتنفس(.
- المرحلة ٤. العضلات الآن فى حالة استرخاء تام، العلامات الحيوية فى أدنى مستوياتها، ويصبح من الصعب إيقاظ الشخص. عادةً ما تحدث مرحلة النوم ٤ فقط فى الثلث الأول من الليل)الشكل ٩١.٤١ب(.

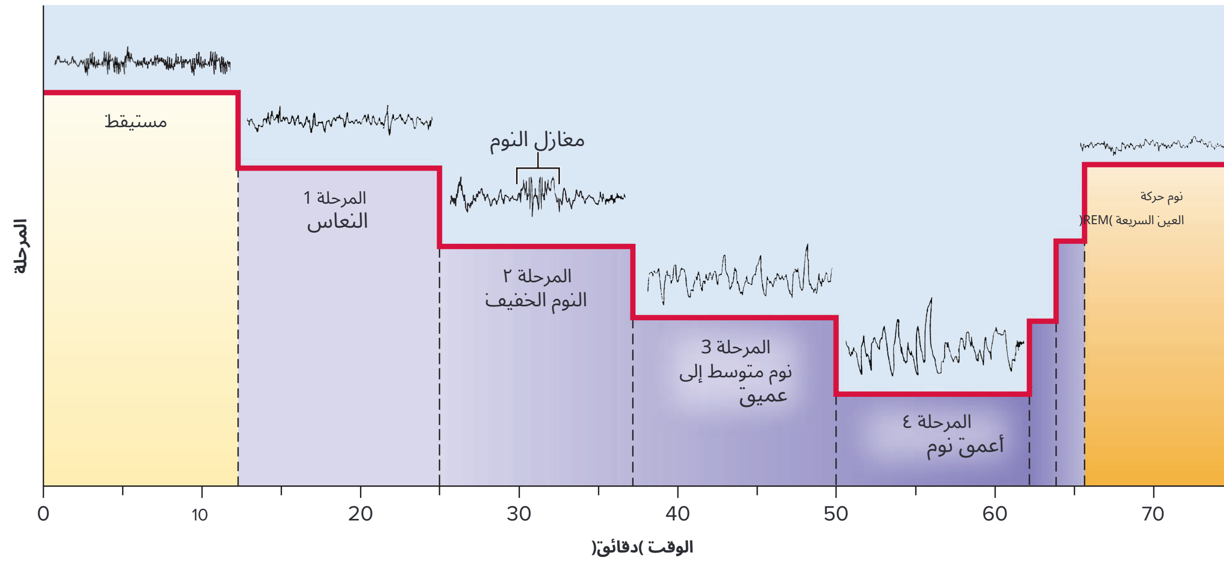
حوالى خمس مرات فى الليل، يعود النائم من المرحلة ٣ أو ٤ إلى المرحلة ٢ ويظهر نوبات من حركة العين السريعة)REM(. سُميت بذ لك لأن العينين تتأرجحان ذهابًا وإيابًا كما لو كانا يشاهدان فيلمًا. وتُ سمى أيضًا النوم المتناقض لأن تخطيط الدماغ الكهربائى)EEG(يش به حالة اليقظة، ومع ذلك يكون من الصعب إيقاظ النائم أكثر من أى م رحلة أخرى. تزداد العلامات الحيوية ويستهلك الدماغ المزيد من الأك سجين مقارنةً بحالة اليقظة. شلل النوم يكون قويًا بشكل خاص خلال نوم حركة العين السريعة)REM(وعادةً ما يمنع النائم من تنفيذ أحلامه .

تزداد نوبات نوم حركة العين السريعة)REM(طولًا مع تقدم الليل، وعادةً ما نستيقظ فى الصباح من المرحلة ٣ أو نوم حركة العين السريعة)REM(. تحدث الأحلام فى كل من نوم حركة العين السريعة)REM(والنوم غير السريع)non-REM(، لكن أحلام نوم حركة العين السريعة تميل لأن ت كون أطول وأكثر وضوحًا وعاطفية من أحلام النوم غير السريع. ومع ذلك، تحد ث معظم الأحلام المخيفة)الكوابيس(خلال النوم غير السريع. يكون الجهاز ال عصبى اللاودى نشطًا جدًا خلال نوم حركة العين السريعة)REM(، مما يسبب تضيق الحدقتين وانتصاب القضيب أو البظر. ومع ذلك، نادرًا ما يصاحب ا لانتصاب محتوى جنسى فى الأحلام.

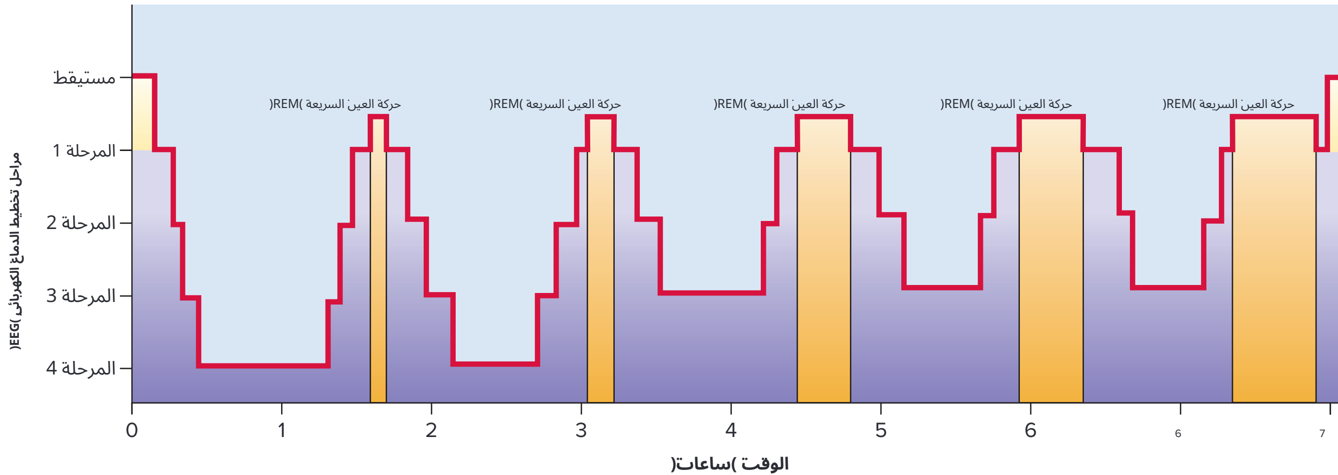
البشر هم نوع نهارى)نشط خلال النهار(حيث يؤدى انخفاض شد ة الضوء إلى الشعور بالنعاس. مع تلاشى الضوء فى نهاية اليوم، تقوم خلايا شبكية معينة تسمى *خلايا العقدة* بإرسال إشارات إلى جزء من ا لوطاء يسمى النواة فوق التصالبية)SCN((SOO-pra-KY-az-MAT- ic))انظر الشكل ٢١.٤١ب(.

---

[45] *تقريبًا* = تقريبًا؛ *يوم* = يوم، 24 ساعة



)أ(دورة نوم واحدة



)ب(فترة نوم نموذجية مدتها ٨ ساعات

الشكل 14.19 مراحل النوم ونشاط الدماغ.)أ(دورة نوم واحدة، من الاستيقاظ إلى النوم العميق، تليها 10 دقائق من نوم حركة العين السريعة)REM(.)ب(مراحل النوم خلال ليلة مدتها 8 ساعات فى شخص شاب نموذجى. يتم الوصول إلى المرحلة 4 فقط فى أول دورتين. تزداد فترات نوم حركة العين السريعة من ح والى 10 دقائق فى الدورة الأولى إلى 50 دقيقة فى الساعة الأخيرة من النوم. تحدث معظم الأحلام خلال نوم حركة العين السريعة.

يقع فوق التصالب البصرى مباشرةً، يُعتبر النواة فوق التصالبية SCN(
) الساعة البيولوجية الرئيسية للجسم. فهى تنظم ليس فقط النوم بل أ
يضًا الإيقاعات اليومية لدرجة حرارة الجسم، وإنتاج البول، وإفراز الهرم
ونات، ووظائف أخرى.

للنواة فوق التصالبية مساران رئيسيان للإخراج يؤديان إلى
النواة الطهرية الوسطية)DMN(القريبة و الغدة الصنوبرية.
تستجيب الغدة الصنوبرية لإشارات النواة فوق التصالبية)SCN(عن
طريق إفراز الهرمون الميلاتونين. يعمل الميلاتونين والنواة فوق التصا
لبية معًا على نظام التنشيط الشبكى)RAS(فى جذع الدماغ. يقوم نظا
م التنشيط الشبكى بحجب الإشارات القادمة من المهاد إلى القشرة ا
لمخية، مما يجعل الشخص النعسان يصبح أقل وعيًا بالمحفزات البى
ئية ويدخل فى النوم.

يحدث الاستيقاظ بواسطة الأوركسينات، وهى ببتيدات عصبية تفرزها
تحت المهاد. تقوم هذه الببتيدات بتحفيز نظام التنشيط الشبكى
الذى بدوره يحفز المهاد. مع بداية استيقاظ الشخص، تزداد النشاطات
الكهربائية فى المهاد ثم تنتشر عبر القشرة المخية. وبالتالى، يزداد الو
عى القشرى بالمحفزات البيئية ويستيقظ النائم. تشمل المسارات ال
تنشيطية من نظام التنشيط الشبكى إلى المهاد والقشرة عدة نواقل ع
صبية مثيرة مثل الهيستامين؛ ولهذا السبب يمكن لمضادات الهيس
تامين، التى تعارض هذا المسار، أن تسبب النعاس.

تكون الأوركسينات غائبة أو بمستويات منخفضة فى اضطراب يُ
سمى النوم القهرى)narcolepsy(، حيث يعانى الشخص من النعا
س المفرط خلال النهار والتعب وقد ينام فجأة أثناء العمل أو الدراسة،
مع بداية سريعة غير طبيعية لنوم حركة العين السريعة)REM(. يبدو أن
النوم القهرى هو مرض مناعى ذاتى ناجم عن تدمير مناعى للخلايا الع
صبية المنتجة للأوركسين.

المهام الحركية ولمعرفة أى مناطق الدماغ هى الأكثر نشاطًا فى الحالا ت الذهنية والمهام المختلفة)انظر التعمق 14.5(.
بعض الأمثلة على التأثيرات المعرفية لإصابات الدماغ تكشف ع ن بعض وظائف مناطق الترابط:

- يمكن لإصابات الفص الجدارى أن تسبب فقدان الوعى بالأشيا ء، أو حتى بأطراف الجسم الخاصة بهم على الجانب المقابل من ا لجسم — وهى حالة تُسمى متلازمة الإهمال الجانبى المقابل. فى الحالات النموذجية، يحلق الرجال نصف الوجه فقط، وتص ع النساء المكياج على جانب واحد فقط، ويرتدى المرضى نص ف الجسم فقط، وينكر بعض الأشخاص أن ذراعًا أو ساقًا تنتمى إل يهم. مثل هؤلاء المرضى غير قادرين على إيجاد طريقهم — على سبيل المثال، لوصف الطريق من المنزل إلى العمل أو التنقل داخل مبنى مألوف.
- غالبًا ما تؤدى إصابات الفص الصدغى إلى العجز عن التعرف)agnosia( )التى تُلفظ ag-NO-zee-ah(، وهو عدم القدرة على التعرف على الأشياء المألوفة و تحديدها وتسميتها. فى حالة العجز عن التعرف على الوجوه)prosopagnosia(، لا يستطيع الأشخاص تذكر الوجوه المألوفة، حتى انعكاسهم فى المرآة.
- إصابات الفص الجبهى تكون مدمرة بشكل خاص للصفات ال تى نعتبرها شخصية الإنسان. يقوم الفص الجبهى بدمج المع لومات من المناطق الحسية والحركية فى القشرة ومن مناط ق الترابط الأخرى. يمنحنا إحساسًا بعلاقتنا مع بقية العالم، مما يمكننا من التفكير فيه والتخطيط وتنفيذ السلوك المناسب.

قد تؤدى الإصابات هنا إلى اضطرابات شخصية عميقة وسلو كيات غير ملائمة اجتماعيًا.

14.5د الذاكرة

الذاكرة هى واحدة من الوظائف المعرفية، لكنها تستحق اهتمامًا خا صًا. درسنا أشكالها وآلياتها العصبية والجزيئية فى الفصل 12. الآن بع د أن تعرفت على التشريح العام للدماغ، يمكننا النظر فى الأماكن الت شريحية التى تحدث فيها هذه العمليات.

موضوعنا أوسع قليلاً من الذاكرة بحد ذاتها.
إدارة المعلومات بواسطة الدماغ تتضمن التعلم)اكتساب معلومات ج ديدة(، والذاكرة الحقيقية)تخزين المعلومات واسترجاعها(، والنسيان)إ زالة المعلومات التافهة(. الأشخاص المصابون بإصابات دماغية أحيانًا غير قادرين على تذكر أشياء كانوا يعرفونها سابقًا)فقدان الذاكرة الرجع ى(أو غير قادرين على تخزين معلومات جديدة)فقدان الذاكرة التقدمى(. *يشير فقدان الذاكرة* إلى عيوب فى *الذاكرة الصريحة*)مثل القدرة على وصف الأحداث الماضية(، وليس *الذاكرة الضمنية*)مثل القدرة على ربط الحذاء(.
يُعتبر الحُصين فى النظام الحوفى مركزًا هامًا لتكوين الذاكرة)انظر الشكل 14.16(. فهو لا يخزن الذكريات، بل ينظم التجارب الحسية والمعرفية إلى ذاكرة طويلة الأمد موحدة. يتعلم الحُصين من المدخلا ت الحسية أثناء حدوث التجربة، لكنه يمتلك ذاكرة قصيرة.

لاحقًا، وخاصة أثناء النوم، يعيد تشغيل هذه الذاكرة مرارًا إلى القشرة الدماغية، التى تُعتبر "متعلمًا بطيئًا" لكنها تشكل ذكريات تدوم لفترة أطول. تُسمى هذه العملية "تع ليم القشرة الدماغية" حتى يتم تأسيس ذاكرة طويلة الأمد تثبيت الذاكرة. تُحفظ الذ كريات طويلة الأمد فى مناطق مختلفة من القشرة. على سبيل المثال، تقع مفردات ا لشخص وذاكرة الوجوه والأشياء المألوفة فى الفص الصدغى العلوى، وتوجد ذكريات ا لخطط والأدوار الاجتماعية فى القشرة الجبهية الأمامية)انظر الشكل 14.13(.

▶▶▶ طبق ما تعرفه
لقد ثبت أن بعض الحيوانات تظهر عليها أعراض النوم القهرى ن تيجة لطفرة فى جين مستقبل الأوركسين.
بالنظر إلى الأمام فى الكتاب إلى داء السكرى من النوع 2 فى القسم 17.7e، هل يمكنك تحديد الخيط المشترك فى هذين الاضطرابين؟

نقضى حوالى ثلث حياتنا نائمين، وقد نندم على هذا "الهدر الرهي ب للوقت". ومع ذلك، يمكن أن يسبب الحرمان من النوم اختلالات وا سعة النطاق تتراوح بين تدهور الإدراك أو الهلوسة إلى فقدان الوزن، و انخفاض المناعة، وحتى الوفاة. ومع ذلك، تظل أسباب النوم والأحلام غامضة. للنوم غير الحركى)Non-REM(تأثير تجديدى ومنعش، لكن م ن غير الواضح لماذا لا يمكن للراحة الهادئة فى السرير وحدها أن تؤدى هذه الوظائف. لماذا يجب أن نفقد الوعى؟
يرتبط النوم بعمليات بناء تجديدية فى الجهاز المناعى، والجهاز الع صبى، والجهاز الصماء، وأنظمة أخرى. يزداد إفراز هرمون النمو، ومن ا لمفترض أن تأثيراته البنائية، خلال نوم الموجة البطيئة. خلال ساعات ا ليقظة، تنخفض مستويات الجليكوجين فى الدماغ، بينما يستهلك AT P وينتج مستقلبًا محفزًا للنوم، وهو الأدينوزين)انظ ر التعمق 15.2(. يقلل النوم غير الحركى من معدل الأيض الدماغى وا ستهلاك ATP، مما يسمح للجليكوجين وATP بالارتفاع مجددًا بينما تنخفض مستويات الأدينوزين وتُزال مستقلبات أخرى من الدماغ. يدع م الاكتشاف والبحث الحديث فى *نظام الغليمفاتيك* فكرة وظيفة إزا لة النفايات للنوم)انظر القسم 21.1b(.

يلعب النوم أيضًا دورًا مهمًا فى الذاكرة. يبدو أن نوم حركة العين ا لسريعة)REM(هو وقت يقوم فيه الدماغ إما بـ "ترسيخ" وتقوية الذكر يات من خلال تعزيز الاتصالات المشبكية، أو بتطهير المعلومات الزائد ة من الذاكرة عن طريق إضعاف أو إزالة مشابك أخرى. عندما يُمنع نوم حركة العين السريعة فى الحيوانات التجريبية دون إيقاظها، فإنها تنس ى المهام التى تعلمتها مؤخرًا. يرتبط نشاط موجات ثيتا ومغازل النوم فى المرحلة الثانية أيضًا بترسيخ الذاكرة.

يُظهر الأشخاص الذين خضعوا لأبحاث النوم وتعلموا مهمة جديدة مؤخرًا كثا فة أعلى من مغازل النوم مقارنةً بالمجموعة الضابطة التى لم تتعلم.

14.5c الإدراك

الإدراك[46] يتكون من العمليات الذهنية التى نكتسب بها المعرفة ون ستخدمها—الإدراك الحسى، والتفكير، والمنطق، والحكم، والذاكرة، وا لخيال، والحدس. تنتشر هذه الوظائف على نطاق واسع فى مناطق م ن قشرة الدماغ تُسمى مناطق الترابط التى تشكل حوالى 75% من نسيج الدماغ كله. هذه هى أصعب منطقة فى أبحاث الدماغ وأكثر جوا نب وظائف الدماغ غموضًا. جاء الكثير مما نعرفه عنها من دراسات لم رضى يعانون من آفات دماغية—مناطق من تدمير النسيج الناتج عن ا لسرطان، والسكتة الدماغية، والصدمات. أسفرت العديد من إصابات الدماغ التى حدثت فى الحربين العالميتين الأولى والثانية عن وفرة من الرؤى حول وظائف مناطق الدماغ. مؤخرًا، أتاحت طرق التصوير مثل PET وfMRI رؤى أكثر تطورًا فى وظائف الدماغ لدى الأفراد الأصحاء الطبيعيين، مما أنهى الاعتماد على دراسات الأشخاص الم صابين بجروح خطيرة. تتيح هذه الطرق للباحث مسح دماغ الشخص أ ثناء أداء مهام إدراكية مختلفة أو

[46] cognit = المعرفة

[47] a = بدون؛ gnos = المعرفة

[48] prosopo = الوجه، الشخص

)2(تذهب مخرجات أخرى إلى مناطق فى القشرة قبل الجبهية التى تتوسط السيطرة الواعية والتعبير عن المشاعر، مثل القدرة على التع بير عن الحب، والسيطرة على الغضب، أو التغلب على الخوف.

تعتمد العديد من الجوانب المهمة للشخصية على سلامة ووظائ ف الأميغدالا وتحت المهاد. عندما يتم تدمير مناطق محددة أو تحفيزه ا صناعيًا، يظهر لدى البشر والحيوانات الأخرى تعبيرات مخففة أو مبا لغ فيها من الغضب، والخوف، والعدوان، والدفاع عن النفس، والمتعة ، والألم، والحب، والجنسية، والمودة الأبوية، بالإضافة إلى اضطرابات فى التعلم، والذاكرة، والدافع. على سبيل المثال، يمكن أن تلغى آفات الأميغدالا الإحساس بالخوف.

يتم تشكيل الكثير من سلوكنا من خلال الارتباطات المكتسبة بين المحفزات، واستجاباتنا لها، والمكافآت أو العقوبات الناتجة. تم تحدى د نوى تشارك فى مشاعر المكافأة والعقاب فى تحت المهاد لدى القط طط، والجرذان، والقرود، وحيوانات أخرى. فى تجربة نموذجية، يتم زرع قطب كهربائى فى منطقة من تحت المهاد تسمى حزمة الدماغ الأمام ية الوسطى)MFB(. يُوضع الحيوان فى حجرة بها دواسة قدم متصلة بذلك القطب. عندما يضغط الحيوان على الدواسة، يتلقى تحفيزًا كهر بائيًا خفيفًا لـ MFB. يبدو أن هذا الإحساس مكافئ بشدة، لأن الحيوان يبدأ قريبًا فى الضغط على الدواسة مرارًا وتكرارًا وقد يقضى معظم و قته فى ذلك—حتى إلى درجة إهمال الطعام والماء. من المعروف أن ا لجرذان تضغط على الذراع من 5000 إلى 12000 مرة فى الساعة، وال قرود تصل إلى 17000 مرة فى الساعة لتحفيز MFB الخاص بها.

لا تستطيع هذه الحيوانات أن تخبرنا بما تشعر به، ولكن تم استخدا م زرع الأقطاب الكهربائية أيضًا لعلاج الأشخاص الذين يعانون من الفصا م الذى لا يمكن علاجه بطرق أخرى، أو الألم، أو الصرع. يضغط هؤلاء المر ضى مرارًا وتكرارًا على زر لتحفيز الحزمة القشرية الوسطى)MFB(، لكنه م لا يبلغون عن مشاعر الفرح أو النشوة. بعضهم غير قادر على شرح س بب استمتاعه بالتحفيز، ويبلغ آخرون عن "تخفيف التوتر" أو "شعور هاد ئ ومسترخ". مع وضع الأقطاب الكهربائية فى مناطق خاطئة من تحت ا لمهاد، يبلغ الأشخاص عن مشاعر الخوف أو الرعب عند التحفيز.

▶▶▶ طبق ما تعرفه

تُظهر فحوصات الرنين المغناطيسى أن جون لديه ورم بحجم حبة البازلاء فى الحُصين، وألان لديه ورم بنفس الحجم فى اللوزة الدما غية. أحد هذين المريضين فى السجن بسبب جرائم عنيفة بدا أنه لا يظهر أى خوف أو إحساس بالحفاظ على النفس. أما المريض ا لآخر فلا يستطيع تذكر اسم حفيدته الجديدة، مهما كرر له ذلك. أى نتيجة سلوكية تربطها بكل مريض؟ ولماذا؟

14.5f الإحساس

جزء كبير من المخ يتعلق بالحواس—معظم القشرة فى الجزيرة والفصوص الجدارى، القذالى، والصدغى. المناطق المسماة القشرة الحسية الأولية هى المواقع التى يتم فيها ا ستقبال المدخلات الحسية لأول مرة ويصبح الإنسان واعياً بالمحفز. و بالقرب منها توجد مناطق الترابط حيث يتم تفسير هذه المعلومات. ع لى سبيل المثال، القشرة البصرية الأولية، التى تستقبل المدخلات م ن العينين، تحدها منطقة الترابط البصرية، التى تفسر وتجعل من الم حفزات البصرية مفهومة إدراكياً حتى نعرف ما ننظر إليه. بعض مناط ق الترابط

ثال، تقيم مفردات الشخص وذاكرة الوجوه والأشياء المألوفة فى الفص الصد غى العلوى، وتوجد ذكريات الخطط والأدوار الاجتماعية فى القشرة الجبهية الأ مامية)انظر الشكل 14.13(.

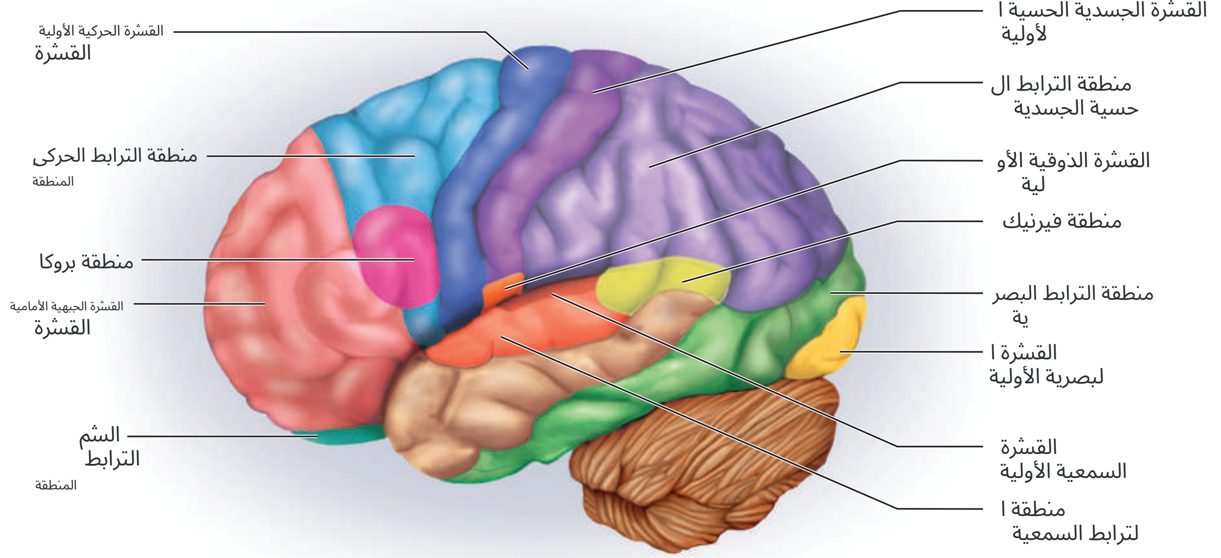
يمكن أن تسبب آفات الحُصين فقدان ذاكرة تقدمى عميق. على سبيل المثال، فى عام 1953، خضع مريض مشهور فى الأدبيات باسم H. M.)هنرى مولايسون، 1926–2008(لعملية جراحية لإزا لة جزء كبير من كلا الفصين الصدغيين، بما فى ذلك كلا الحُصينين، لع لاج الصرع الشديد. لم تؤثر العملية سلبًا على ذكائه أو ذاكرته الصريحة للأحداث التى وقعت فى حياته المبكرة، لكنها تركته عاجزًا عن تكوين ذ كريات صريحة جديدة. عمل مع نفس الأخصائى النفسى لأكثر من 40 عامًا بعد العملية، لكنه لم يكن يتذكر من هى من يوم لآخر أو يتذكر مح ادثة جرت قبل دقائق قليلة فقط. ومع ذلك، كان قادرًا على تعلم مهارا ت حركية جديدة، مما يدل على أن الذاكرة الصريحة والضمنية تنطويا ن على مناطق دماغية منفصلة.

تشمل أجزاء أخرى من الدماغ المشاركة فى الذاكرة المخيخ، الذى ي لعب دورًا فى تعلم المهارات الحركية، واللوزة الدماغية)الأميغدالا(، التى تلعب دورًا فى الذاكرة العاطفية.

14.5e العاطفة

المشاعر والذكريات العاطفية ليست وظائف حصرية للمخ، بل هى ن تيجة لتفاعل بين مناطق القشرة الجبهية الأمامية)القشرة قبل الجبه ية(والدينسيفالون)المخ بين الدماغ(. تم تحديد مراكز التحكم العاطفى فى الدماغ من خلال دراسة الأشخاص الذين يعانون من آفات دماغية وباستخدام تقنيات مثل الاستئصال الجراحى، والإزالة)التدمير(لمنا طق صغيرة باستخدام الأقطاب الكهربائية، والتحفيز بالأقطاب الكهر بائية والغرسات الكيميائية، خاصة فى الحيوانات التجريبية. التغيرات فى السلوك بعد هذه الإجراءات تعطى دلائل على الوظائف التى يؤديه ا كل منطقة. ومع ذلك، فإن تفسير النتائج صعب ومثير للجدل بسب ب التعقيدات فى الاتصالات بين الدماغ العاطفى والمناطق الأخرى.

القشرة قبل الجبهية)منطقة الارتباط الجبهية(هى الجزء الأمامى الأبعد من الفص الجبهى، وتقع خلف الجبهة مباشرة. وهى متطورة ح يدًا فقط فى الرئيسيات، وخاصة البشر. وهى مركز الحكم، والنية، وال سيطرة على التعبير عن مشاعرنا.
بغض النظر عن شعورنا، هنا نقرر الطريقة المناسبة لإظهار تلك المشا عر. لكن المشاعر نفسها، والذكريات العاطفية، تنشأ من مناطق أعمق فى الدماغ، خاصة تحت المهاد)الهيبوثالاموس(والأميغدالا. هنا تقع ا لنوى التى تحفزنا على التراجع خوفًا من أفعى الجرس أو الاشتياق لح ب ضائع.
الأميغدالا هى مكون رئيسى فى الجهاز الحوفى الذى تم وصفه سابقًا)انظر الشكل 14.16(. تستقبل معلومات معالجة من الحواس ا لعامة ومن الرؤية والسمع والتذوق والشم. تمكنها هذه المدخلات من التوسط فى الاستجابات العاطفية لمثل هذه المحفزات كالرائحة الكر يهة، والطعم السيء، والمنظر الجميل، والموسيقى الممتعة، أو ألم الم عدة. وهى مهمة بشكل خاص فى الإحساس بالخوف، لكنها تلعب أى ضًا أدوارًا فى اتخاذ القرار، وتناول الطعام، والسلوك الجنسى، والتعاط ف، والإحساس بالحالة العاطفية للآخرين، وجذب انتباهنا إلى المحفزا ت الجديدة.
تتجه المخرجات من الأميغدالا فى اتجاهين ذوى أهمية خاصة:)
1(يذهب بعضها إلى تحت المهاد وجذع الدماغ السفلى ويؤثر على الأ نظمة الحركية الجسدية والحشوية. قد يؤدى الاستجابة العاطفية لمح فز ما، من خلال هذه الاتصالات، إلى تسارع ضربات القلب، وارتفاع ضغط الدم، وقيام الشعر بالوقوف، أو تحفيز القيء.



الشكل 14.20 بعض المناطق الوظيفية فى القشرة المخية اليسرى. توجد مناطق بروكا وفيرنيك للقدرات اللغوية فى نصف كرة واحدة فقط، عادةً اليسرى. المناطق الأخرى المعروضة هنا متماثلة فى كلا نصفى الكرة.

- التوازن. ترسل الإشارات من الأذن الداخلية الخاصة بالتوازن فى الغالب إلى المخيخ وعدة نوى فى جذع الدماغ المعنية بحركات الرأس والعين والوظائف الحشوية. ومع ذلك، يتم توجيه بعض ألياف هذا النظام عبر المهاد إلى مناطق الترابط القشر ى فى سقف الأخدود الجانبى وقرب الطرف السفلى للأخدود المركزى. وهذا هو مركز الوعى بحركات أجسامنا وتوجهنا فى ال فضاء.

- الذوق والشم. تستقبل الإشارات الذوقية)الطعم(من قبل الق شرة الذوقية الأولية فى الطرف السفلى من التلم بعد المركز ى فى الفص الجدارى)سيتم مناقشته لاحقًا(ومنطقة أمامية فى الجزيرة. تستقبل الإشارات الشمية)الرائحة(من قبل الق شرة الشمية الأولية فى القشرة الوسطية للفص الصدغى وال قشرة السفلية للفص الجبهى. تعمل القشرة المدارية الجبهى ة التى ذُكرت سابقًا كمركز ترابط متعدد الحواس لكل من الطعم والشم، وبالتالى فهى مهمة جدًا فى استمتاعنا أو رفضنا لمخ تلف الأطعمة والمشروبات.

الحواس العامة

الحواس العامة)الحسية الجسدية، الحسية الجسدية، أو الجسدية[49](م وزعة على كامل الجسم وتستخدم مستقبلات بسيطة نسبيًا. تشمل ه ذه الحواس مثل اللمس، الضغط، التمدد، الحركة، الحرارة، البرودة، وا لألم. تصل هذه الإشارات من الرأس إلى الدماغ عبر بعض الأعصاب ا لقحفية، وخاصة العصب ثلاثى التوائم؛ ومن بقية الجسم، تصعد عبر ا لمسارات الحسية فى الحبل الشوكى مثل المسار الشوكى المهادى. فى كلا المسارين، تعبر إلى المهاد فى الجانب المقابل.

المناطق هى *متعددة الأنماط*—بدلاً من معالجة المعلومات من مصد ر حسى واحد، تستقبل مدخلات من حواس متعددة وتدمجها فى إدرا كنا العام لمحيطنا. على سبيل المثال، فى الفص الجبهى فوق العينين مباشرة، هناك بقعة من القشرة متعددة الأنماط تسمى *القشرة المدا رية الجبهية*، التى تستقبل مدخلات التذوق، الشم، والرؤية لتشكيل ان طباعنا العام عن مدى رغبة تناول طعام معين.

أعضاء الحواس ومسارات الإشارة الخاصة بها فى الجهاز العصبى المركزى هى موضوع الفصل 16. هنا سنستعرض فقط مناطق قشرة المخ المشاركة فى الإدراك الحسى.

الحواس الخاصة

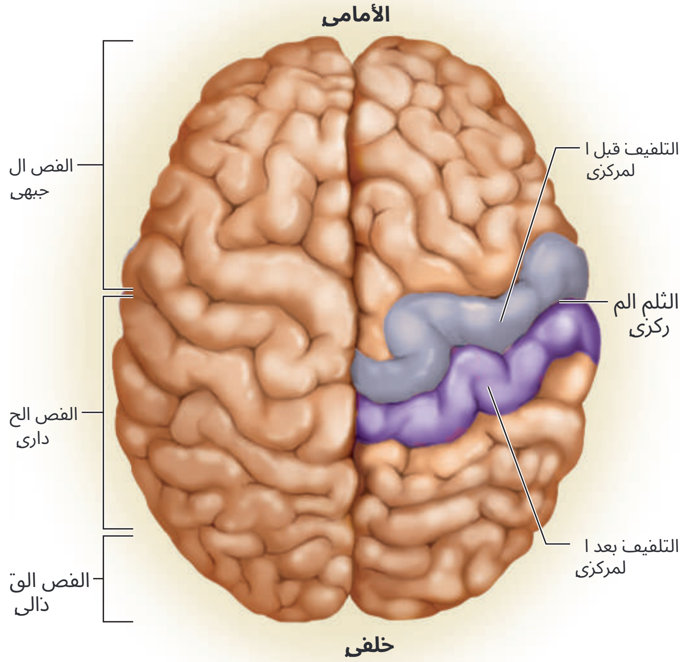
الحواس الخاصة هى الرؤية، السمع، التوازن، التذوق، والشم. تُعرف مجتمعة بأنها الحواس المحدودة بالرأس والتى تستخدم أعضاء حسية معقدة نسبياً. تقع قشرتها الأولية ومناطق الترابط الخاصة بها كما يلى)الشكل 14.20(.

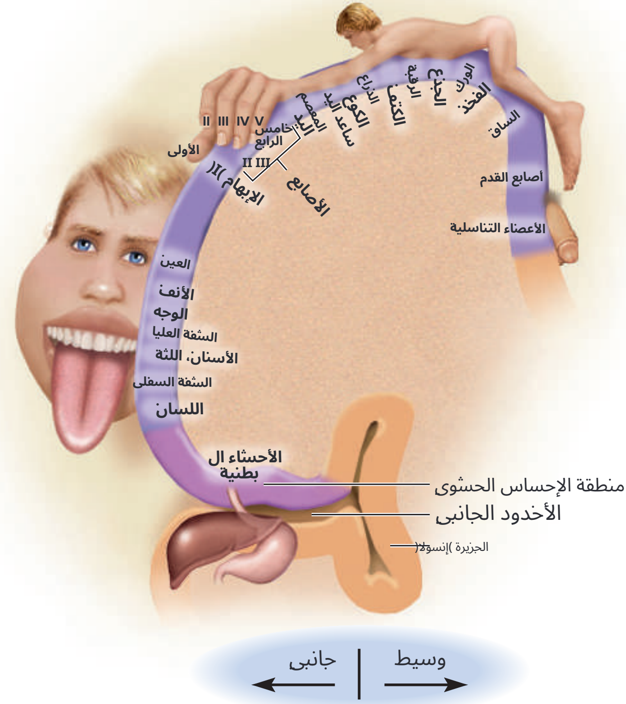
- الرؤية. تستقبل الإشارات البصرية من قبل القشرة البصرية ا لأولية فى المنطقة الخلفية البعيدة من الفص القذالى. تحدها م ن الأمام منطقة الترابط البصرى، التى تشمل بقية الفص القذا لى، وبعض من الفص الجدارى الخلفى)المعنى بالإدراك المكان ى(، وكثيرًا من الفص الصدغى السفلى، حيث نتعرف على الو جوه والأشياء المألوفة الأخرى.

- السمع. تستقبل الإشارات السمعية من قبل القشرة السم عية الأولية فى المنطقة العلوية من الفص الصدغى وفى الجزير ة المجاورة. تحتل منطقة الترابط السمعى مناطق من الف ص الصدغى أسفل القشرة السمعية الأولية وداخل الأخدود الجا نبى. هنا تكمن قدرتنا على التعرف على الكلمات المنطوقة، ق طعة موسيقية مألوفة، أو صوت على الهاتف.

---

[49] الجسم = الجسم؛ الإحساس = الشعور





الشكل 14.21 القشرة الحسية الجسدية الأولية)التلفيف بعد المركزى(.)أ(منظر علوى للدماغ يُظهر موقع التلفيف بعد المركزى)باللون البنفسجى(.)ب(منظر أمامى للهومونكولوس الحسى فى نصف الكرة الأيمن، مرسوم بحيث تكون أجزاء الجسم متناسبة مع كمية القشرة المخصصة لإحساسها. يشمل هذا التلفيف أيضًا مراكز للإحساس الحشوى من الأعضاء داخل البطن)منطقة الإحساس الحشوى(. APR

يعالج المهاد المدخلات وينقل الإشارات بشكل انتقائى إلى التلفيف بعد المركزى. هذا طية من المخ تقع مباشرة خلف الأخدود المركزى وبالتالى تشكل الحد الأمامى للفص الجدارى)الشكل 14.21(. يمكننا تتبعها من فوق الأخدود الجانبى إلى قمة الرأس ثم إلى الشق المخى الطولى. يُسمى قشرتها القشرة الحسية الجسدية الأولية. بجانبها توجد منطقة ارتباط حسية جسدية، تقع خلف التلفيف وفى سقف الأخدود الجانبى)الشكل 14.20(. يحدث الوعى بالتحفيز فى القشرة الحسية الجسدية الأولية، لكن فهمه معرفيًا هو وظيفة منطقة الارتباط.

بسبب التقاطع المذكور سابقًا فى المسارات الحسية، يتلقى التلفيف بعد المركزى الأيمن مدخلات من الجانب الأيسر من الجسم والعكس صحيح. القشرة الحسية الجسدية الأولية تشبه خريطة حسية مقلوبة للجانب المقابل من الجسم، يتم تمثيلها تقليديًا كـ *الإنسان الحسى*[50])الشكل 14.21ب(. كما يظهر الرسم البيانى، تستقبل المستقبلات فى الطرف السفلى إشارات إلى الأجزاء العلوية والوسطى من التلفيف، وتستقبل المستقبلات فى الوجه إشارات إلى الأجزاء السفلية والجانبية. هذا التطابق نقطة بنقطة بين منطقة من الجسم ومنطقة فى الجهاز العصبى المركزى يسمى التجسيم الجسدى.[51] سبب المظهر الغريب والمشوه للإنسان الحسى هو أن كمية النسيج المخى المخصصة لمنطقة معينة من الجسم تتناسب مع مدى كثافة التعصيب و

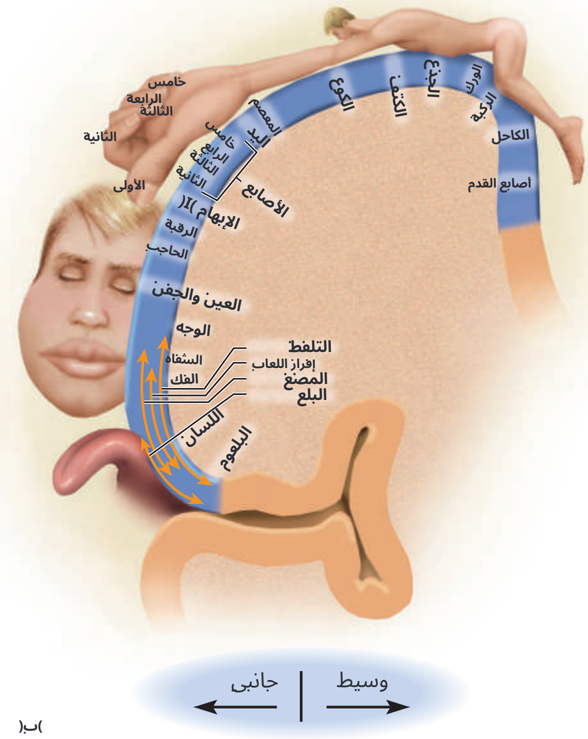
[50] hom = رجل؛ unculus = صغير
[51] somato = جسم؛ topy = مكان

حساسية تلك المنطقة، وليس بحجمها. لذلك، تمثل اليدان والوجه منطقة أكبر بكثير فى القشرة الحسية الجسدية مقارنة بالجذع وترسم أكبر فى الإنسان الحسى.

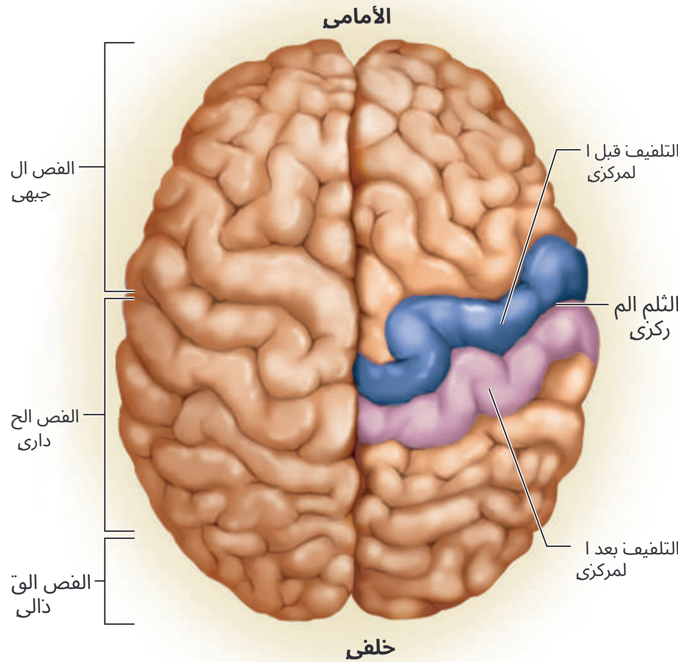
14.5ح السيطرة الحركية

تبدأ نية انقباض عضلة هيكلية فى منطقة الارتباط الحركى)ما قبل الحركى(فى الفص الجبهى)الشكل 14.20(. هنا نخطط لسلوكنا—حيث تجمع الخلايا العصبية برنامجًا لمقدار وتسلسل انقباضات العضلات المطلوبة لفعل مثل الرقص أو الكتابة أو التحدث. ثم يُنقل البرنامج إلى خلايا عصبية فى التلفيف قبل المركزى)المنطقة الحركية الأولية(، وهو التلفيف الخلفى للفص الجبهى، الموجود مباشرة أمام الأخدود المركزى)الشكل 14.22(. ترسل الخلايا العصبية هنا إشارات إلى جذع الدماغ والحبل الشوكى، مما يؤدى فى النهاية إلى انقباض العضلات.

اللفافة قبل المركزية، مثل اللفافة بعد المركزية، تُظهر التوزيع الجسدى العصبى)سوماتوتوبى(. على سبيل المثال، الخلايا العصبية المسؤولة عن حركات الأصابع تقع عميقًا فى الشق الطولى للدماغ على الجانب الوسيط من اللفافة. قمة اللفافة تتحكم فى الجذع والكتف والذراع، و المنطقة السفلية الجانبية تتحكم فى عضلات الوجه. يتم تمثيل هذه الخريطة فى شكل *الإنسان الصغير الحركى*)الشكل 14.22ب(. مثل الإنسان الصغير الحسى، له مظهر مشوه لأن كمية القشرة المخصصة لمنطقة معينة من الجسم تتناسب مع عدد العضلات والوحدات الحركية فى تلك المنطقة، وليس مع حجم المنطقة. كمية النسيج الدماغى المخصصة لليدين والوجه،



)ب(



)أ(

الشكل 14.22 القشرة الحركية الأولية)التلفيف قبل المركزى(.)أ(منظر علوى للدماغ يُظهر موقع التلفيف قبل المركزى)باللون الأزرق(.
APR)ب(الهومونكولوس الحركى، مرسوم بحيث تكون أجزاء الجسم متناسبة مع كمية القشرة الحركية الأولية المخصصة للتحكم بها.

أى مناطق الجسم تسيطر عليها أكبر مناطق من القشرة الحركية — المناطق التى تحتوى على عدد قليل من العضلات الكبيرة أم المناطق التى تحتوى على العديد من الع
ضلات الصغيرة؟

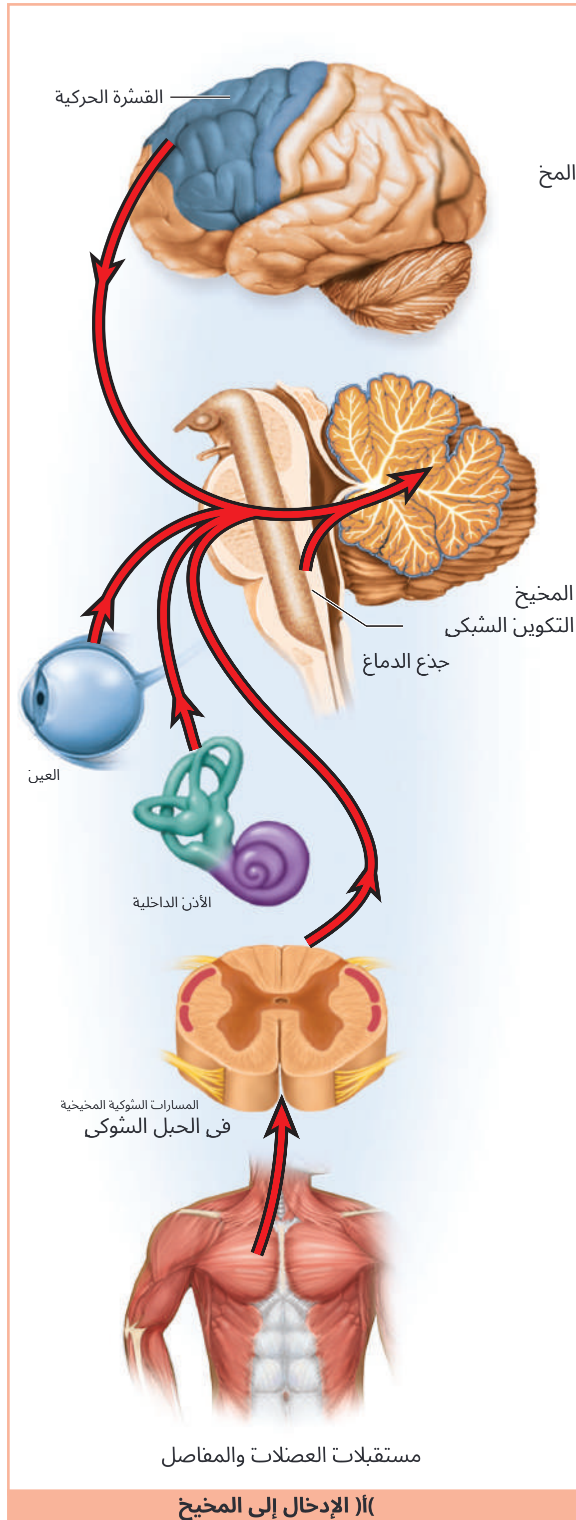
المناطق الأخرى فى الدماغ المهمة فى التحكم بالعضلات هى النو
ى القاعدية)انظر الشكل 14.17(والمخيخ. من بين أدوار النوى القاعد
ية تحديد بداية ونهاية الحركات الإرادية؛ الحركات المتكررة للورك والك
تف التى تحدث أثناء المشى؛ والسلوكيات المكتسبة والمتقنة التى ت
قوم بها الإنسان بقليل من التفكير—على سبيل المثال، الكتابة، قيادة
السيارة، وربط الحذاء. تقع النوى القاعدية فى دائرة تغذية راجعة من ا
لمخ إلى النوى القاعدية إلى المهاد ثم تعود إلى المخ. تستقبل إشارات
من المادة السوداء فى الدماغ المتوسط ومن جميع مناطق قشرة الم
خ، باستثناء القشرتين البصرية والسمعية الأوليتين. تقوم النوى القاعد
ية بمعالجة هذه الإشارات وتصدر مخرجاتها إلى المهاد، الذى يعيد إر
سال هذه الإشارات إلى الدماغ المتوسط وقشرة المخ—وخاصة إلى ال
قشرة الجبهية الأمامية، ومنطقة الارتباط الحركى، والتلفيف المركزى ا
لأمامى.

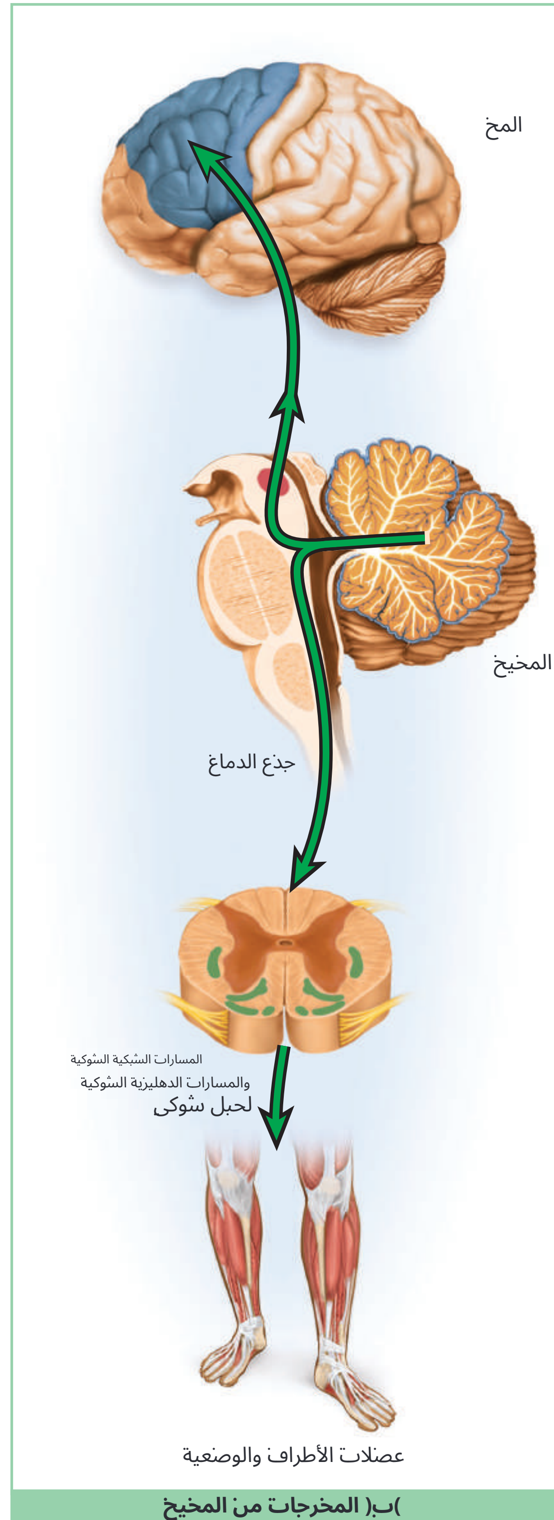
تسبب آفات النوى القاعدية اضطرابات فى الحركة تُسمى خلل ا
لحركة.[52] وغالبًا ما تتميز بصعوبة غير طبيعية فى بدء الحركة، مثل النه
وض من الكرسى أو البدء فى المشى، والمشى ببطء مع خطوات مترد
دة. تُرى هذه الاضطرابات الحركية فى مرض باركنسون. تتطلب الحر
كات السلسة والسهلة تنشيط العضلات المتعاونة وتثبيط عضلاتها ال
مضادة.
فى مرض باركنسون، لا يتم تثبيط العضلات المضادة. لذلك،

واللسان يعكس أهمية التحكم الحركى الدقيق فى الكلام،
وتعبير الوجه، واستخدام اليدين.
لا يوجد تطابق دقيق نقطة بنقطة بين منطقة من التلفيف قبل ا
لمركزى وعضلة معينة. العضلة تُتحكم بواسطة خلايا عصبية فى عدة
نقاط داخل منطقة عامة من التلفيف. أيضًا، قد تؤثر خلية عصبية مع
ينة فى التلفيف فى نهاية المطاف على أكثر من عضلة واحدة، مثل ع
ضلات الكتف والمرفق التى تساهم كلاهما فى التنسيق الحركى لوضع
اليد. على الرغم من أن الهومونكولوس يحدد المناطق القشرية التى
تتحمل مسؤولية عامة عن التحكم الحركى لمنطقة معينة، فإن الحدود
بين هذه المناطق القشرية تتداخل وليست محددة بوضوح.

تُسمى خلايا الهرم فى التلفيف قبل المركزى بالخلايا العصبية الح
ركية العلوية. تمتد أليافها)محاورها العصبية(نحو الأسفل، حيث تن
تهى حوالى 19 مليون ليف فى أنوية جذع الدماغ و1 مليون تشكل الم
سارات القشرية الشوكية. تعبر معظم هذه الألياف فى النخاع المستط
يل السفلى)عند تقاطع الهرم(وتشكل *المسار القشرى الشوكى الجان
بى* على كل جانب من الحبل الشوكى.
يمر عدد أقل من الألياف عبر النخاع المستطيل دون تقاطع ويشكل *ا
لمسارات القشرية الشوكية الأمامية*، التى تعبر فى مستوى أدنى فى ا
لحبل الشوكى. وبالتالى، يتحكم كل تلفيف قبل مركزى بعضلات الجان
ب المقابل من الجسم. فى جذع الدماغ أو الحبل الشوكى، تتشابك الأ
لياف القادمة من الخلايا العصبية الحركية العلوية مع الخلايا العصبية ا
لحركية السفلية التى تمثل محاور الأعصاب الحركية الجسدية التى تع
صب العضلات الهيكلية)انظر الشكل 13.7(.

[52] *dys* = سيء، غير طبيعي، صعب؛ *kines* = حركة





الشكل 14.23 المسارات الحركية التى تشمل المخيخ.)أ(المسارات الواردة)المدخلات(من المخ وأعضاء الحواس إلى المخيخ.)ب(المسارات الصادرة)المخرجات(من المخيخ إلى العضلات الهيكلية.

المخيخ ذو أهمية كبيرة فى تنسيق الحركة. بالإضافة إلى وظائفه ا
لإدراكية التى تم وصفها سابقًا)انظر القسم 14.3e(، فإنه يساعد فى
تعلم المهارات الحركية، ويحافظ على توتر العضلات والوضعية، وينعم
انقباضات العضلات، وينسق حركة العين والجسم

تتنافس العضلات المعاكسة عند المفصل مع بعضها البعض، مما يجع
ل من الصعب الحركة كما يشاء المرء. تتميز اضطرابات الحركة الأخرى
بحركات مبالغ فيها أو غير مرغوب فيها، مثل التلويح بالأطراف)*بال-*
lismus) فى مرض هنتنغتون.

الواقعة فى القشرة الجبهية الأمامية السفلية لنفس نصف الكرة. تُظهر فحوصات PET ارتفاعًا فى النشاط الأيضى لمنطقة بروكا عندما يستعد الشخص للتحدث أو الإشارة)انظر الشكل 14.41(. تولد هذه ا لمنطقة برنامجًا حركيًا لعضلات الحنجرة واللسان والخدين والشفاه لإ نتاج الكلام، وكذلك لحركات اليد فى الإشارة. تنقل هذا البرنامج إلى ال قشرة الحركية الأولية التى تنفذه—أى تصدر أوامر إلى الخلايا العصبية الحركية السفلى التى تزود العضلات المعنية.

الجانب العاطفى للغة يتحكم به مناطق فى نصف الكرة المقابل ا لتى تعكس مناطق فيرنيك وبروكا. مقابل منطقة بروكا توجد *منطقة اللغة العاطفية*. تؤدى الآفات فى ه ذه المنطقة إلى *فقدان النغمة العاطفية فى الكلام*—كلام مسطح وخا لٍ من العاطفة. القشرة المقابلة لمنطقة فيرنيك معنية بالتعرف على ا لمحتوى العاطفى لكلام شخص آخر. يمكن أن تؤدى الآفات هنا إلى م شاكل مثل سوء تفسير نغمة أو نية شخص آخر العاطفية، أو عدم القد رة على فهم نكتة.

طبق ما تعرفه

من بين جميع مراكز اللغة التى تم وصفها، أى منها يناسب بشكل أفضل مفهوم قشرة الارتباط متعددة الوسائط؟

الأفازيا[55])ah-FAY-zee-uh(هى أى عجز لغوى ناتج عن آفا ت فى نصف الكرة الدماغية)عادةً اليسرى(التى تحتوى على مناطِق فيرنيك وبروكا. من الصعب تصنيف الأشكال العديدة للأفازيا. *الأفاز يا غير الطليقة)بروكا(*، الناتجة عن آفة فى منطقة بروكا، تؤدى إلى بطء فى الكلام، وصعوبة فى اختيار الكلمات، أو استخدام كلمات تقارب فقط الكلمة الصحيحة. على سبيل المثال، قد يقول الشخص "تسير" عند طلب تحديد صورة لكرسى. فى الحالات الشديدة، يتكون مفردات الشخص بالكامل من كلمتين أو ثلاث كلمات، أحيانًا تلك التى كان ي نطق بها عندما حدث السكتة الدماغية. يشعر هؤلاء المرضى بإحباط شديد تجاه أنفسهم وغالبًا ما يحافظون على تردد صامت فى الكلام. ق د تسبب آفة فى منطقة فيرنيك الأفازيا الطليقة)فيرنيك(، حيث ي تحدث الشخص بشكل طبيعي وأحيانًا مفرط، لكنه يستخدم لغة غير م فهومة وكلمات مخترعة لا معنى لها)على سبيل المثال،

[55] a = بدون؛ phas = كلام

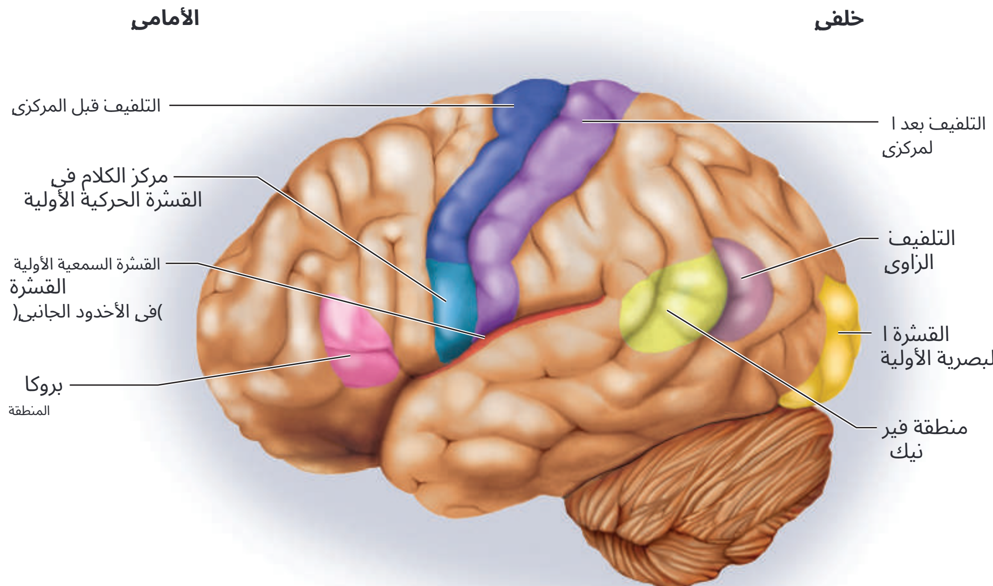
الحركات، ويساعد على تنسيق حركات المفاصل المختلفة مع بعضها البعض)مثل الكتف والكوع عند رمى كرة القاعدة(. يعمل المخيخ كمقا رن فى التحكم الحركى. من خلال القدمين الأوسطين، يستقبل معلوما ت من الخلايا العصبية الحركية العليا فى المخ حول الحركات التى ينو ى القيام بها، ومعلومات عن حركة الجسم من العينين والأذنين الداخ لية. من خلال المسارات الشوكية المخيخية والقدمين السفليين، يس تقبل معلومات من مستقبلات الوضع فى العضلات والمفاصل حول ا لأداء الفعلى للحركة)الشكل 14.23أ(. تقوم خلايا بوركنجى فى المخي خ بمقارنة الاثنين. إذا كان هناك اختلاف بين النية والأداء، فإنها ترسل إشارة إلى النوى العميقة للمخيخ. هذه بدورها تصدر إشارات إلى المها د وجذع الدماغ السفلى، والتى تصعد فى النهاية إلى منطقة الارتباط ا لحركى فى المخ والمسارات الشبكية الشوكية والمسارات الدهليزية ا لشوكية فى الحبل الشوكى)الشكل 14.23ب(. تعمل المخرجات من هذه المناطق على تصحيح أداء العضلات لمطابقة النية.يمكن أن تؤد ى آفات المخيخ إلى مشية غير متناسقة وغير متزنة *)الرنح(* وتجعل بعض المهام مثل صعود السلالم صعبة أو مستحيلة.

14.5ه اللغة

تشمل اللغة عدة قدرات—القراءة، والكتابة، والتحدث، والإيماء، ولغة ا لإشارة، وفهم الكلمات—مخصصة لمناطق مختلفة من قشرة المخ)ا لشكل 14.24(. منطقة الكلام الخلفية، أو منطقة فيرنيك[53] (Wernicke) مسؤولة عن التعرف على اللغة المنطوقة والمكتوبة. تقع مباشرة خلف الأخدود الجانبى، عادة فى نصف الكرة الأيسر، عند التقاطع بين المناطق البصرية والسمعية والحسية الجسدية فى القشرة، وتتلقى م دخلات من كل هذه المناطق المجاورة. الطُرف الزاوى، وهو جزء من ا لفص الجدارى يقع خلف وفوق منطقة فيرنيك، مهم فى القدرة على ا لقراءة والكتابة.

عندما ننوى التحدث، تقوم منطقة فيرنيك بصياغة العبارات وفقًا لقواعد النحو والمفردات المكتسبة وتنقل خطة الكلام إلى منطقة اللغة الحركية، أو منطقة بروكا[54])Broca(.

[53] كارل فيرنكى)1848–1905(، عالم أعصاب ألمانى
[54] بيير بول بروكا)1824–1880(، جراح وعالم أنثروبولوجيا فرنسى



الشكل 14.24 مراكز اللغة فى نصف الكرة الأيسر.

والبصيرة؛ المهارة الموسيقية والفنية؛ إدراك الأنماط والعلاقات المكا نية؛ ومقارنة المشاهد والأصوات والروائح والنكهات. وهو أفضل من نصف الكرة الأيسر فى التعرف على نغمة الصوت والإيقاع والمحتوى ا لعاطفى فى كلام الآخرين.

ترتبط التخصصية الدماغية الجانبية ارتباطًا وثيقًا بالإتقان اليدوى. فالجهة اليسر ى من الدماغ هى الجهة التصنيفية لدى 96% من الأشخاص الذين يستخدمون اليد ا ليمنى، والجهة اليمنى لدى 4% منهم. أما بين الأشخاص الذين يستخدمون اليد الى سرى، فتكون الجهة اليمنى تصنيفية فى 15%، والجهة اليسرى فى 70%، بينما فى ا لـ 15% المتبقية، لا تكون أى من الجهتين متخصصة بشكل واضح.

يتطور التمركز الجانبى مع التقدم فى العمر. فى الأطفال الصغار، إذا تعرض أحد نصفى الكرة المخية للضرر أو تم إزالته)على سبيل المثال، بسبب سرطان الدماغ(، فإن النصف الآخر غالبًا ما يمكنه تولى وظائفه. يُظهر الذكور البالغون تمركزًا جانبيًا أكثر من الإناث ويعانون من فقدان وظ يفى أكبر عند تلف أحد نصفى الكرة المخية. عندما يتضرر النصف الأيسر، يكون الرجال أكثر عرضة بثلاث مرات من النساء للإصابة بفقدان القدرة ع لى الكلام)الأفازيا(. السبب وراء هذا الاختلاف غير واضح حتى الآن.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

21. افترض أنك تقرأ رواية وتبدأ تدريجيًا فى النوم وتحلم. كيف ستتغير موجات دماغك خلال هذه التسلسل من الأحداث؟

22. صف مواقع ووظائف المناطق الحسية الجسدية، والبصرية، والسمعية، ومناطق الترابط الجبهى.

23. صف التمركز الجسدى)السوماتوتوبى(للمنطقة الحركية الأولية و المنطقة الحسية الأولية.

24. ما هى أدوار منطقة فيرنيك، ومنطقة بروكا، والتلفيف قبل المركز ى فى اللغة؟

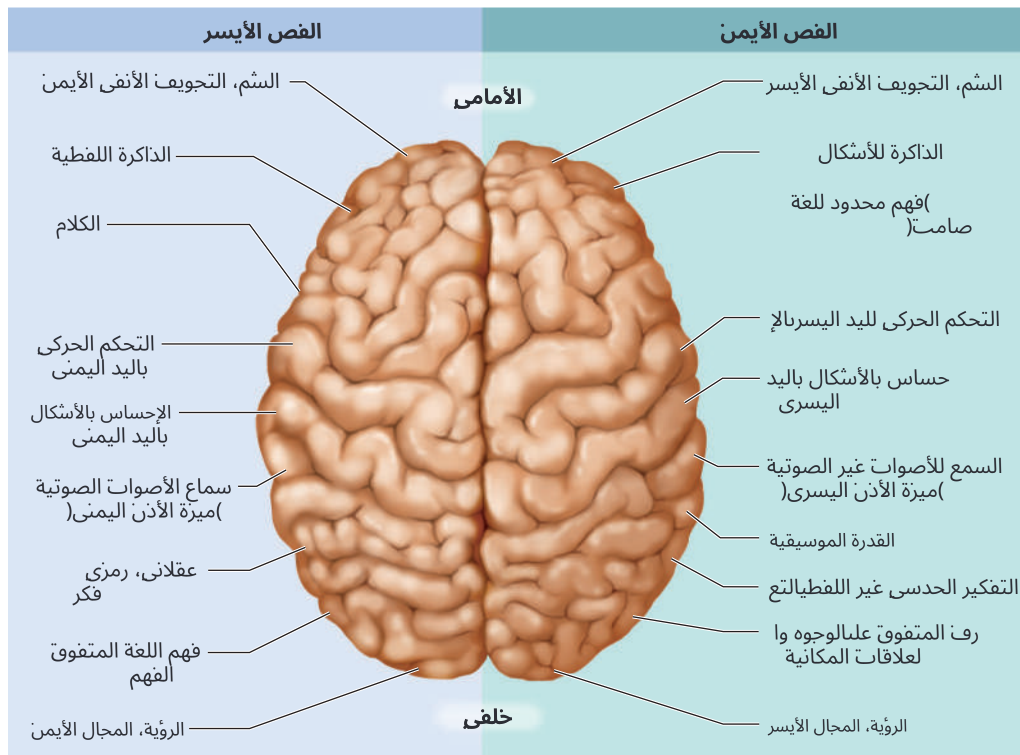
ة "كرسى"(. قد يكون هذا الشخص غير قادر على فهم الكلمات المكتوبة والم سموعة. فى حالة *الحبسة اللفظية*، يستطيع الشخص التحدث بشكل طبيعى وفهم الكلام، لكنه لا يستطيع التعرف على الكلمات المكتوبة أو الصور. عند عر ض صورة لكرسى، قد يقول الشخص: "أعرف ما هو؛ لدى الكثير منها"، لكنه غ ير قادر على تسمية الشىء.

يمثل هذا مجرد عينة صغيرة من التأثيرات اللغوية المعقدة والمح يرة لإصابات الدماغ. يمكن لإصابات أخرى فى مناطق صغيرة من القش رة أن تسبب ضعفًا فى القدرة الرياضية، أو ميلًا لنسيان الحروف الم تحركة وكتابة الحروف الساكنة فقط، أو صعوبة فى فهم النصف الثانى من كل كلمة يقرأها الشخص.

14.5ط التماثل الدماغى

يبدو نصفى الكرة المخية متطابقين للوهلة الأولى، لكن الفحص الدقيق ى كشف عن عدد من الاختلافات. على سبيل المثال، فى العديد من النساء يكون الفص الصدغى الأيسر أطول من الأيمن. فى الأشخاص الذين يستخ دمون اليد اليسرى، يكون الفص الجبهى، الجدارى، والقذالى الأيسر عادةً أ عرض من تلك الموجودة على اليمين. كما تختلف نصفى الكرة المخية فى بعض وظائفهما)الشكل 14.25(. لا يوجد نصف كرة "مهيمن"، لكن كل م نهما متخصص فى مهام معينة. يُطلق على هذا الاختلاف فى الوظيفة اسم التماثل الدماغى الجانبى. ومع ذلك، فإن الفكرة القائلة بأن بعض الأشخا ص هم "ذوو دماغ أيسر")مثل الرياضى أو العالم(وآخرون "ذوو دماغ أيمن ")مثل الموسيقى أو الفنان(هى مجرد خرافة شعبية مرفوضة. يستخدم ال جميع نصفى الكرة المخية بشكل متساوٍ تقريبًا.

نصف الكرة الواحد، عادةً الأيسر، يُسمى نصف الكرة التصنيفى . وهو متخصص فى اللغة المنطوقة والمكتوبة وفى التفكير التحليلى وا لتسلسلى المستخدم فى مجالات مثل العلوم والرياضيات. يبدو أن ه ذا النصف يقوم بتقسيم المعلومات إلى قطع وتحليلها بطريقة خطية. النصف الآخر، عادةً الأيمن، يُسمى نصف الكرة التمثيلى . يدرك المع لومات بطريقة أكثر تكاملاً وشمولية. وهو مركز الخيال



الشكل 14.25 تخصص وظائف الدماغ الجانبية. نصفى الكرة المخية ليسا متطابقين وظيفيًا.

14.6أ مسارات الأعصاب القحفية

تبدأ معظم الألياف الحركية للأعصاب القحفية فى نوى جذع الدماغ وتو صل إلى الغدد والعضلات. تبدأ الألياف الحسية فى المستقبلات الموجو دة بشكل رئيسى فى الرأس والرقبة وتوصل بشكل رئيسى إلى جذع الدم اغ. وتشمل هذه الحواس الخاصة مثل الرؤية والسمع، بالإضافة إلى الحو اس العامة مثل اللمس والإحساس بالموضع)الحس العميق(. تم تفصيل مسارات الحواس الخاصة فى الفصل 16. تبدأ الألياف الح سية للإحساس بالموضع فى العضلات التى تعصبها الألياف الحركية للأعصاب القحفية، لكنها غالبًا ما تسافر إلى الدماغ عبر عصب مختل ف عن العصب الذى يزود التعصيب الحركى.

تحمل معظم الأعصاب القحفية أليافًا بين جذع الدماغ والمستق بلات والمنفذات على نفس الجانب. لذلك، يسبب التلف فى جانب و احد من جذع الدماغ عجزًا حسيًا أو حركيًا فى نفس جانب الرأس. وهذا يتناقض مع تلف القشرة الحركية والحسية الجسدية فى المخ، والتى، كما رأينا سابقًا، تسبب عجزًا حسيًا وحركيًا فى الجانب المقابل من ا لجسم. الاستثناءات هى العصب البصرى)II(، حيث يعبر نصف الأليا ف إلى الجانب المقابل من الدماغ)انظر الشكل 16.45(، والعصب ال بكرى)IV(، حيث تؤدى جميع الألياف الصادرة إلى عضلة فى العين الم قابلة.

الأعصاب القحفية 14.6

نتائج التعلم المتوقعة

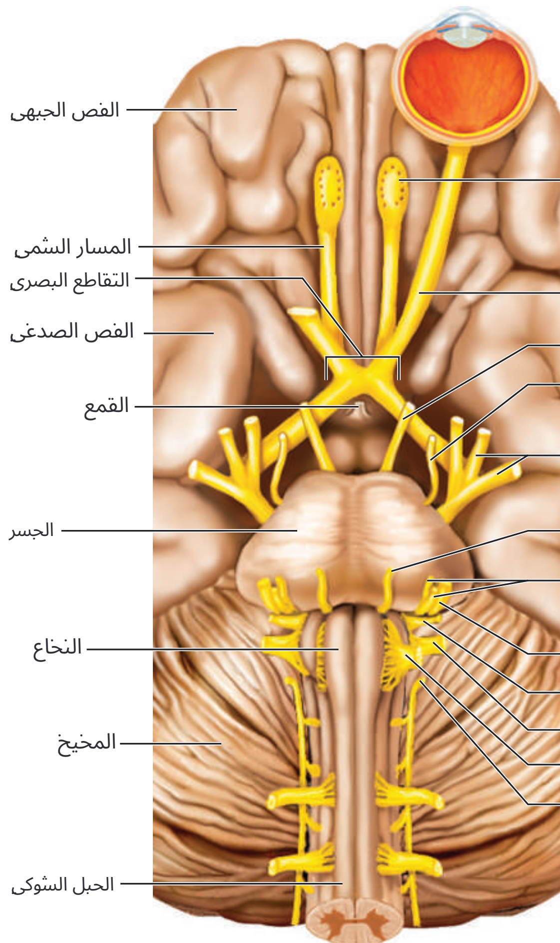
عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

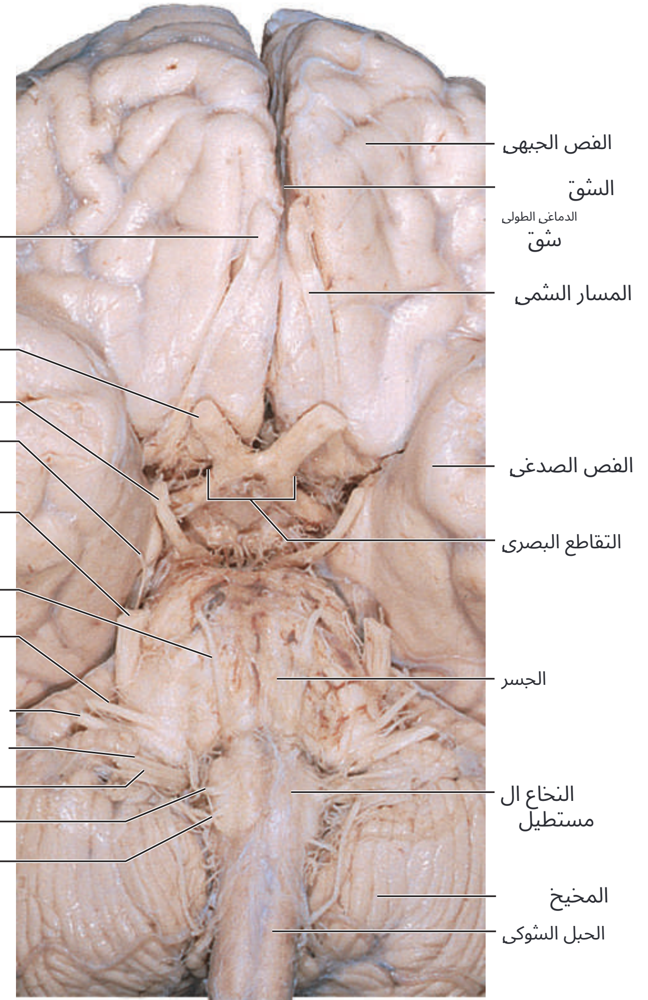
أ. سرد أسماء وأرقام الأعصاب القحفية الاثنى عشر؛

ب. تحديد مكان نشوء كل عصب قحفى ونهايته؛ و

ج. بيان وظائف كل عصب قحفى.

لكى يكون الدماغ وظيفيًا، يجب أن يتواصل مع بقية الجسم. معظم مدخلاته ومخرجاته تمر عبر الحبل الشوكى، ولكنه يتواصل أيضًا عبر 12 زوجًا من الأعصاب القحفية. تنشأ هذه الأعصاب أساسًا من قاعدة الدماغ، وتخرج من الجمجمة عبر فتحاتها، وتتجه إلى العضلات وأعضاء الحس الموجودة فى الغالب فى الرأس والرقبة. تُرقم الأعصاب القحفية **CN I** إلى **CN XII** بدءًا من الزوج الأكثر أمامية)الشكل 14.26(. لكل عصب اسم وصفى مثل *العصب البصرى* و *العصب المبهم.*





APR الشكل 14.26 الأعصاب القحفية.)أ(قاعدة الدماغ، تُظهر 12 عصبًا قحفيًا.)ب(صورة فوتوغرافية للأعصاب القحفية.

ب: ريبيكا جراى/دون كينكيد/ماكجرو هيل

14.6ب تصنيف الأعصاب القحفية

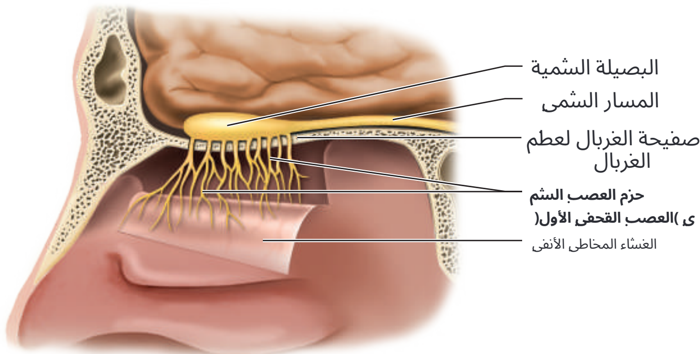
تصنف الأعصاب القحفية إلى حسية، حركية، أو مختلطة حسب ما إذا كانت تحتوى، على التوالى، على ألياف عصبية واردة)حسية(فقط، أو ألياف عصبية صادرة)حركية(فقط، أو كلاهما. تحمل الأعصاب الحسية)العصب القحفى الأول والثانى(الإشارات فقط من أعضاء الحواس الطرفية إلى الدماغ؛ وتحمل الأعصاب الحركية)العصب القحفى الثالث، الرابع، السادس، الحادى عشر، والثانى عشر(الإشارات فقط من جذع الدماغ إلى العضلات والغدد الطرفية؛ وتحمل الأعصاب المختلطة)الخامس، السابع، الثامن، التاسع، والعاشر(الإشارات فى كلا الاتجاهين.
تمتلك الأعصاب المختلطة وظائف حسية لا علاقة لها بوظائفها الحركية. على سبيل المثال، للعصب الوجهى)العصب القحفى السابع(دور حسى فى التذوق ودور حركى فى تعابير الوجه. كان العصب الدهليزى القوقعى)العصب القحفى الثامن(المسؤول عن السمع والتوازن يُصنف تقليديًا كعصب حسى بحت، لكنه وُجد مؤخرًا أنه يمتلك أيضًا وظيفة حركية مهمة فى الأذن، سيتم وصفها لاحقًا.
خارج التجويف القحفى، تشكل الأعصاب القحفية شبكات، أو *ضفائر* فى الرأس والرقبة مشابهة للضفائر العصبية الشوكية التى نوقشت فى الفصل 13. عند نهاياتها البعيدة فى العضلات، غالبًا ما تستقبل الفروع الحركية للأعصاب القحفية أليافًا حسية من مستقبلات الوضع)بروبرسبيترز(فى العضلات. تزود هذه الألياف الدماغ بتغذية راجعة للتحكم فى حركة العضلات وتجعل الشخص مدركًا لأمور مثل وضعية اللسان واتجاه الرأس. فى الضفائر، تعبر العديد من الألياف من العصب الأصلى إلى عصب قحفى مختلف، غالبًا العصب الثلاثى التوائم)العصب القحفى الخامس(، الذى يكمل مسارها إلى جذع الدماغ.

14.6ج مسح الأعصاب القحفية

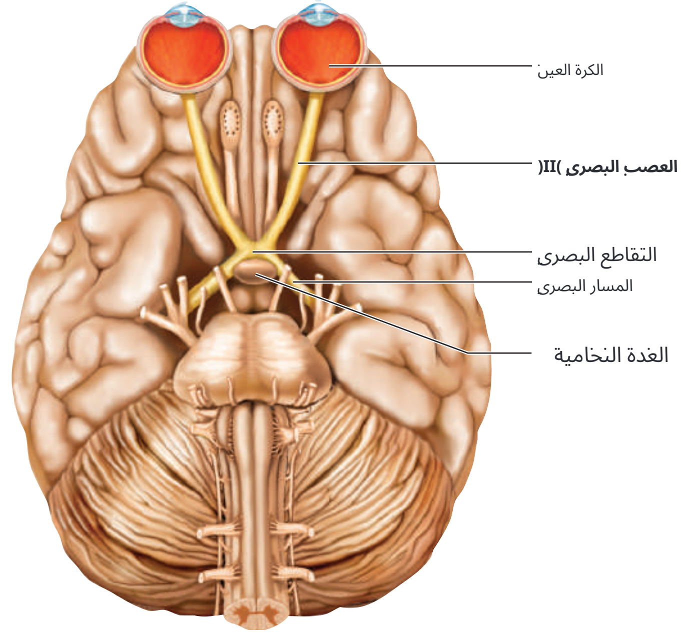
تستعرض الصفحات التالية الخصائص الرئيسية لكل من أزواج الأعصاب القحفية الاثنى عشر. لكل عصب، نبدأ بوصف عام لوظائفه وأى خصائص فريدة قد يمتلكها؛ ورسم توضيحى لمساره التشريحى؛ وملاحظات حول تأثيرات الضرر الذى يصيب ذلك العصب وكيف يقيم أطباء الأعصاب وظيفته أو العجز الناتج عنه. فى نهاية المسح الوصفى، ستجد جدولًا ملخصًا ورسمًا توضيحيًا، بالإضافة إلى طريقة مساعدة لتذكر أسماء هذه الأعصاب بالترتيب التشريحى.

العصب الشمى)العصب القحفى الأول(

العصب الشمى)الشكل 14.27(هو عصب حسى بحت خاص بالشم. يتكون من عدة حزم منفصلة تمر بشكل مستقل من خلال صفيحة الغربال لعظم الغربال فى سقف التجويف الأنفى. لا يكون مرئياً فى الأدمغة المعزولة لأن هذه الحزم تنقطع عند إزالة الدماغ من الجمجمة، ولكن فى معظم هذه الأدمغة يمكن رؤية *البصيلات الشمية* التى تنتهى فيها هذه الأعصاب.



APR الشكل 14.27 العصب الشمى)I(.



APR الشكل 14.28 العصب البصرى)II(.

يمكن أن يتعرض العصب الشمى للتلف بسبب ضربات قوية على الوجه تكسر عظم الغربال، مثل ما قد يتعرض له الشخص عند الاصطدام بلوحة عدادات السيارة. يمكن أن يسبب هذا الضرر فقدان حاسة الشم)فقدان الشم(، وهو فقدان حاسة الشم. هذا لا يقلل فقط من بعض متع الحياة، بل يمكن أن يكون خطيراً إذا فشل الشخص فى اكتشاف الدخان أو تسرب الغاز أو الطعام الفاسد. علامة سريرية لتلف العصب الشمى هى أن المريض لا يستطيع شم حتى المواد ذات الرائحة القوية مثل القهوة والفانيليا وزيت القرنفل أو الصابون.

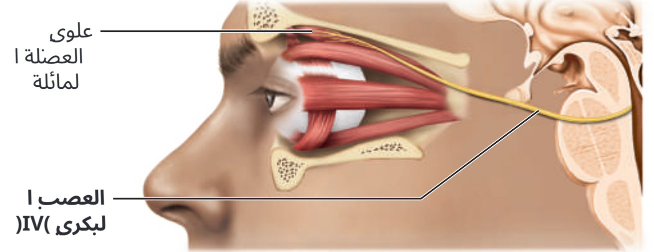
العصب البصرى)العصب القحفى الثانى(

أربعة من الأعصاب القحفية الاثنى عشر)الثانى، الثالث، الرابع، والسادس(تهتم حصرياً بالعينين. العصب الحسى الوحيد بينها هو العصب البصرى)الشكل 14.28(، الذى ينقل جميع الإشارات البصرية من الشبكية إلى الدماغ. يسبب تلف هذا العصب العمى فى جزء أو كل مجال الرؤية فى العين المتأثرة. يمكن رؤية جزء من العصب البصرى، وهو القرص البصرى، وتقييمه فى فحص العين باستخدام منظار العين)انظر الشكل 16.30(. كما يتم تقييم وظيفة العصب البصرى من خلال اختبارات حدة البصر ومدى الرؤية المحيطية. ومن المعروف الآن أن العصب البصرى يحتوى على بعض ألياف الأعصاب اللاودية)الحركية(ذات الوظيفة غير المؤكدة، وربما تتحكم فى الأوعية الدموية فى العصب.

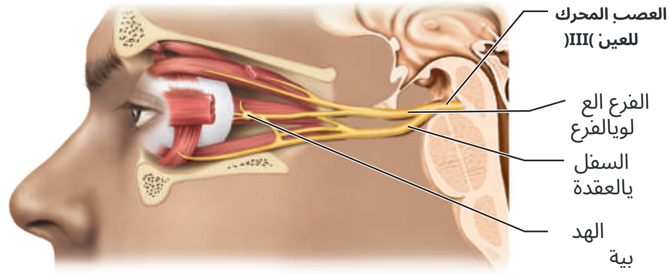
العصب المحرك للعين)العصب القحفى الثالث(

العصب المحرك للعين[56])الشكل 14.29(هو عصب حركى. يتحكم فى أربعة من ستة عضلات لحركة العين)انظر الشكل 16.25(، التى توجه النظر إلى الأعلى والأسفل والوسط. كما يتحكم فى عضلة رافع الجفن العلوى للجفن العلوى، *التى تفتح العين وتحافظ على فتحها،* وفى عضلات العين الداخلية الخاصة بالتركيز وقطر الحدقة.
تشمل العلامات السريرية لتلف هذا العصب عدم القدرة على تحريك العين فى الاتجاهات المذكورة أو تتبع جسم متحرك، تدلى الجفن، حدقة ثابتة ومتوسعة، اختلاف فى حجم وشكل الحدقتين اليمنى واليسرى، عدم استجابة الحدقة للضوء، رؤية مزدوجة، صعوبة فى التركيز، وميول العين للدوران جانبياً فى حالة الراحة.

[56] *oculo* = العين؛ *motor* = المحرك



الشكل 14.30 العصب البكرى)الرابع(. يمر وتر العضلة المائلة العلوية من خلال حزام ليفى يشبه البكرة، العضلة البكرية)تُرى بوضوح فى الشكل 16.25(.



الشكل 14.29 العصب المحرك للعين)III(.

قام الشخص بإمالة رأسه نحو أحد الكتفين، تطهر العين على ذلك الجا نب انحرافًا لأعلى.

العصب الثلاثى التوائم)العصب القحفى الخامس(

العصب الثلاثى التوائم [58])tri-JEM-ih-nul(هو أكبر الأعصاب ال قحفية وجهاز الإحساس الأكثر أهمية فى الوجه. يشير اسمه إلى أنه ين قسم إلى ثلاثة فروع بارزة بعد مغادرته جذع الدماغ مباشرة — الفروع ا لعينية)V_1(، الفكى العلوى)V_2(، والفكى السفلى)V_3( )الشكل 14.31أ). V_1 و V_2 هما أعصاب حسية، فى حين أن V_3 هو مختلط. يُشعر بألم الأسنان عبر العصب الثلاثى التوائم. يؤدى تلف أحد فروعه إلى فقدان الإحساس من المنطقة المقابلة فى الوجه)الشكل 14.31ب(.

الفرع V_3 له أيضًا وظيفة حركية فى المضغ)الشكل 14.31ح(، والتى تتأثر بالتلف فى هذا الفرع.

العصب البكرى)العصب القحفى الرابع(

العصب البكرى [57] (TROCK-lee-ur))الشكل 14.30(، مثل العصب ا لعينى الحركى، هو عصب حركى لحركة العين، لكن عمله الوحيد هو تو جيه النظر قليلاً إلى الأسفل وتدوير الجزء العلوى من كرة العين نحو الأ نف، خاصةً لتعويض حركات الرأس.

هذا هو العصب القحفى الوحيد الذى ينشأ من الجانب الخلفى لجذع الدماغ. كما أنه فريد من نوعه بكونه الوحيد الذى يعبر تمامًا؛ حيث تتقاطع جذور العصب البكرى مع بعضها داخل جذع الدماغ قبل أن تخرج من السطح، لذا يتحكم العصب البكرى الأيسر فى العين اليمنى والعكس صحيح.

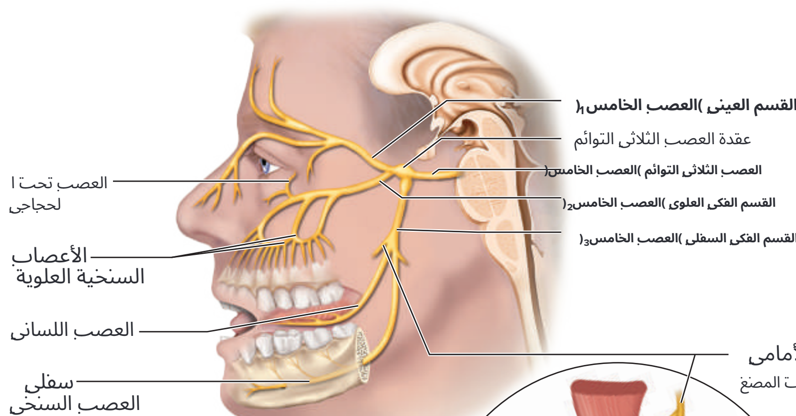
تشمل علامات تلف العصب البكرى الرؤية المزدوجة وضعف الق درة على النظر إلى الأسفل. غالبًا ما يشير العين المتأثرة إلى الأعلى وا لجانب الخارجي، ويميل المريض إلى شد الذقن وإمالة الرأس إلى الأ سفل لتقليل الرؤية المزدوجة. أحد التقييمات لوظيفة العصب البكرى هو اختبار إمالة الرأس لبيلشوسكى — إذا

[58] *tri* = three; *gem* = born (*trigem* = triplets)

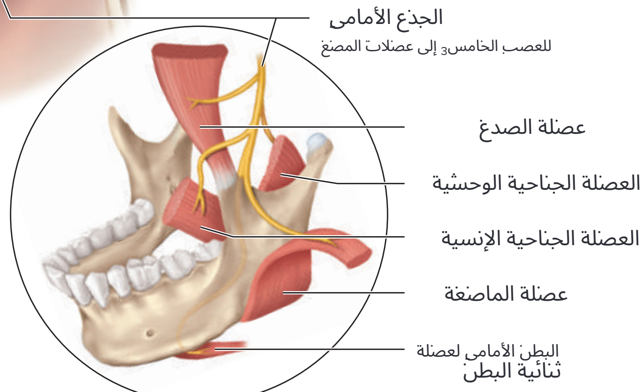
[57] أتروكليا = بكرة)الحلقة يمر من خلالها وتر العضلة(



)ب(توزيع الألياف الحسية لكل قسم

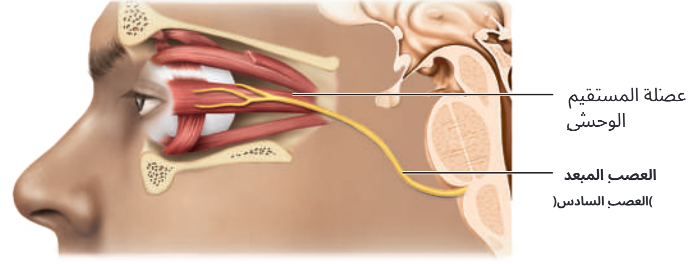


)أ(المسار التشريحى للفروع الثلاثة للعصب الثلاثى التوائم



)ح(الفروع الحركية للقسم الفكى السفلى)العصب الخامس3(

الشكل 14.31 العصب الثلاثى التوائم)العصب الخامس(. لاحظ الفروع الثلاثة البارزة، V_1 إلى V_3 التى تعطى هذا العصب اسمه.)أ(المسار التشريحى للفروع الثلاثة للعصب الثلاثى التوائم.)ب(توزيع الألياف الحسية لكل قسم.)ح(الفروع الحركية للقسم الفكى)العصب الخامس3(.



الشكل 14.32 العصب المبعد (العصب السادس). عن طريق تعصيب عضلة المستقيم الوحشي، يجعل هذا العصب العين تدور بعيدًا عن الخط الوسيط للوجه، كما يوحى اسمه ("الابتعاد"). APR

أحد علامات تلف الفرع V_1 هو غياب رد فعل الوميض، كما عندما يلمس طبيب الأعصاب سطح العين بقطعة قطن صغيرة. تلف V_2 يتميز بفقدان حواس اللمس، والألم (يُختبر بوخز الإبر)، ودرجة الحرارة (الحرارة والبرودة). يتم تقييم V_3 عن طريق تحسس عضلات الماضغ والصدغ للشعور بنغمة العضلات عندما يضغط المريض على أسنانه، واختبار القدرة على تحريك الفك السفلي من جانب إلى آخر وفتح الفم ضد المقاومة. العصب الثلاثي التوائم هو مصدر اضطراب ألم شائع يسمى *ألم العصب الثلاثي التوائم* (انظر التعمق 14.4).

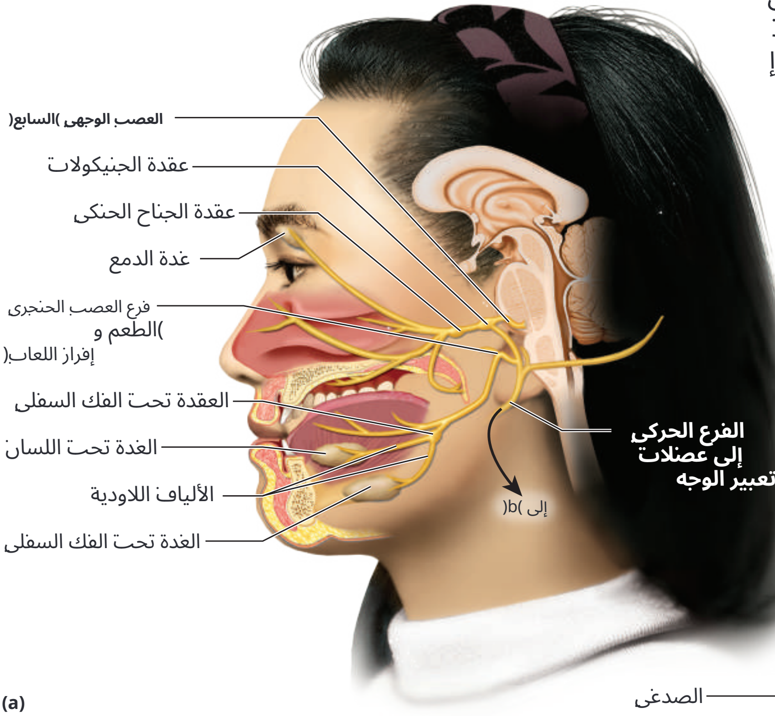
العصب المبعد (العصب القحفي السادس)

العصب المبعد[59] (ab-DOO-senz) (الشكل 14.32)، مثل العصب المحرك للعين والعصب البكري، هو أيضاً عصب حركي لحركة العين. يتحكم في عضلة *المستقيم الوحشي*، التي توجه النظر إلى الجانب. يسبب تلف هذا العصب انحرافًا وسطيًا للعين، حيث أن عضلة المستقيم الوسطي لا تواجه مقاومة من المستقيم الوحشي. يتم تقييم وظيفة العصب المبعد من خلال اختبار قدرة الشخص على توجيه النظر إلى الجانب.

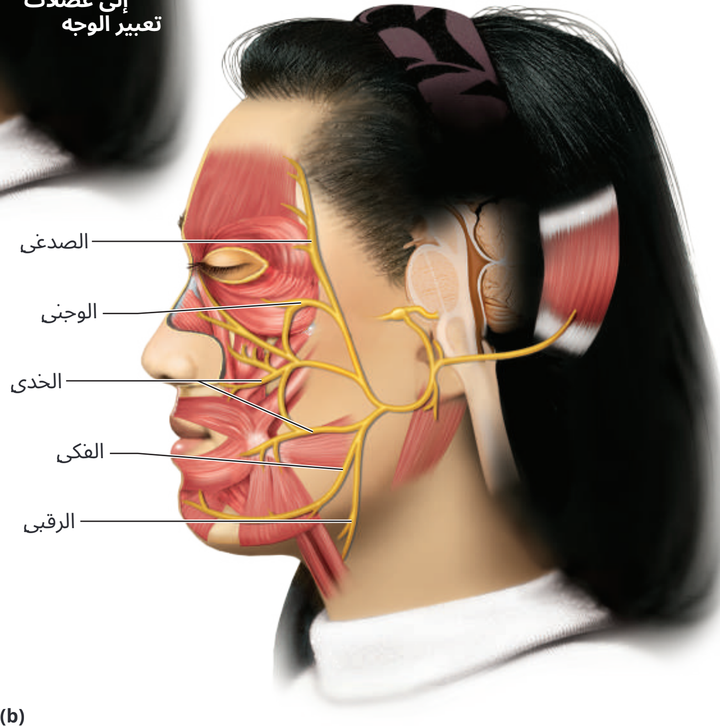
العصب الوجهي (العصب القحفي السابع)

العصب الوجهي (الشكل 14.33) هو العصب الحركي الرئيسي لعضلات الوجه (انظر الجدول 10.1)، ولكنه يحتوي أيضًا على ألياف حسية

[59] ab = بعيد؛ duc = يقود أو يدير



(a)



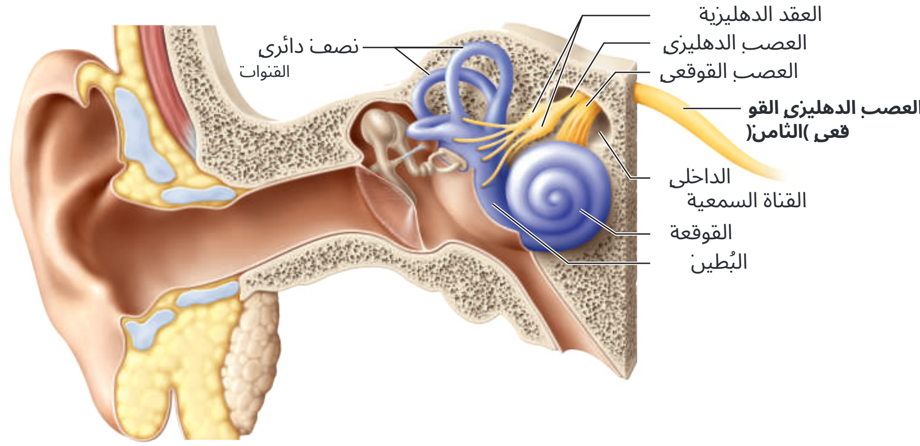
(b)



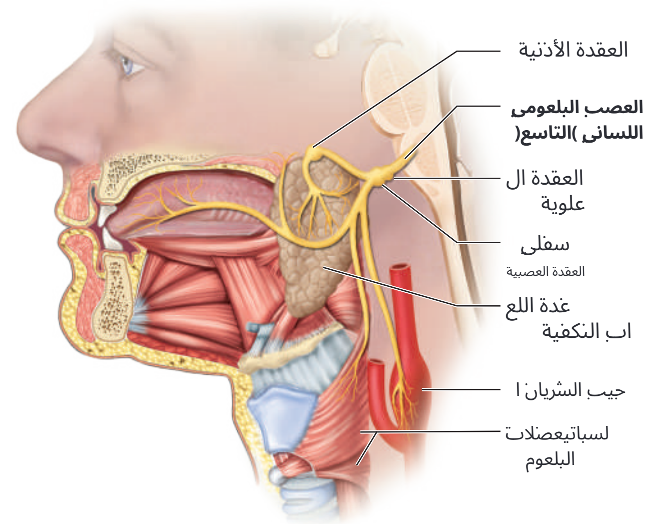
(c)

الشكل 14.33 العصب الوجهي (السابع). (a) العصب الوجهي والأعضاء المرتبطة به. (b) الفروع الخمسة الرئيسية للعصب الوجهي. (c) طريقة لتذكر توزيع الفروع الخمسة الرئيسية. APR

c: جو ديغرانديس/كين سالادين



الشكل 14.34 العصب الدهليزى القوقعى)ال
ثامن(. لاحظ كيف ينشأ العصب من التقاء العص
ب الدهليزى والعصب القوقعى، كما يشير اس
مه. APR



الشكل 14.35 العصب البلعومى اللسانى)التاسع(. لاحظ كيف تتفرع فروع العص
ب إلى اللسان والبلعوم، كما يوحى اسمه.
APR

من براعم التذوق فى الثلثين الأماميين من اللسان. لذلك، يُصنف كع
صب مختلط. ينقسم إلى خمسة فروع بارزة:
الفروع الصدغية، الوجنية، الخدية، الفكية السفلى، والرقبية.
يمكن أن يؤدى تلف العصب الوجهى إلى تشويه حاسة التذوق لدى ال
شخص، خاصة للحلويات، ويسبب ترهل عضلات الوجه بسبب نقص
نغمة العضلات)انظر التعمق 14.4(.
يتم تقييم الوظيفة الحركية للعصب الوجهى من خلال اختبار قدرة
الشخص على الابتسام، العبوس، الصفير، رفع مقلة العين، إغلاق الع
ينين، وأداء حركات وجهية أخرى. ويتم تقييم الوظيفة الحسية من خلا
ل اختبار حساسية الجزء الأمامى من اللسان تجاه مواد مثل السكر، ال
ملح، الخل، والكينين، واختبار استجابة غدد الدموع لأبخرة الأمونيا.

العصب الدهليزى القوقعى)العصب القحفى الثامن(

العصب الدهليزى القوقعى[60])vess-TIB-you-lo-COC-lee-ur( )ال
شكل 14.34(هو عصب حسى فى المقام الأول مسؤول عن السمع وا
لتوازن، لكنه يمتلك أيضًا تأثيرًا حركيًا على الأذن الداخلية لضبط حاسة
السمع)انظر الفصل 16(. وبالتالى، فهو عصب مختلط. يتكون من ال
تقاء العصب القوقعى القادم من القوقعة والعصب الدهليزى القادم
من القنوات نصف الدائرية والدهليز فى الأذن الداخلية. يمكن أن يس
بب تلف هذا العصب الصمم الحسى العصبى)انظر التعمق 16.2(،
والدوار، والغثيان، و الرأرأة)حركات إيقاعية لا إرادية للعينين من جانب
إلى آخر(. يتم تقييم وظيفة العصب القحفى الثامن من خلال البحث
عن الرأرأة واختبار سمع المريض وتوازنه وقدرته على المشى فى خط م
ستقيم.

العصب البلعومى اللسانى)العصب القحفى التاسع(

العصب اللسانى البلعومى[61])GLOSS-oh-fah-RIN-jee-ul( )الش
كل 14.35(هو عصب معقد ومختلط يحتوى على العديد من الوظائف
الحسية والحركية فى الرأس والرقبة ومنطقة الصدر، بما فى ذلك الإح
ساس من اللسان والحلق والأذن الخارجية؛ التحكم فى تناول الطعام؛
وحتى بعض جوانب وظائف القلب والجهاز التنفسى. تشمل علامات
تلف هذا العصب صعوبة فى البلع وفقدان الإحساس بالطعم المر وال
حامض. يمكن تقييمه من خلال اختبار الجزء الخلفى من اللسان باس
تخدام مواد مرّة وحامضة، وملاحظة أى عوائق فى الكلام، واختبار رد
فعل gag، والبلع، والسعال.

العصب المبهم)العصب القحفى العاشر(

العصب المبهم[62] (VAY-gus)( )الشكل 14.36(لديه أوسع توزيع بين
جميع الأعصاب القحفية، حيث يزود الأعضاء ليس فقط فى الرأس وا
لرقبة بل أيضًا معظم الأحشاء فى تجاويف الصدر والبطن والحوض. إ
نه عصب مختلط له أدوار رئيسية فى التحكم فى وظائف القلب، الرئة
، الهضم، والجهاز البولى. يحمل أليافًا عصبية جسدية إلى عدة عضلات
فى الرأس والرقبة، بالإضافة إلى 90% من جميع ألياف الجهاز العص
بى اللاودى)انظر الفصل 15(.
يُعتبر تلف كلا العصبين المبهمين)الأيمن والأيسر(عادةً مميتًا.
تشمل علامات تلف عصب مبهم واحد فقط صعوبة فى البلع وحركة ا
لجهاز الهضمى، وبحة فى الصوت أو فقدان الصوت. يتم تقييم وظيفة
العصب المبهم من خلال فحص حركات الحنك أثناء الكلام؛ وملاحظة
بحة الصوت أو ضعف الصوت أو عدم القدرة على السعال بقوة؛ وال
تحقق من صعوبة البلع أو غياب رد فعل القيء.

[60] *دهليزى* = مدخل)دهليز الأذن الداخلية(؛ *القوقعة* = الصدفة، الحلزون)قوقعة الأذن(
[61] *لسانى* = اللسان؛ *بلعومى* = الحلق

[62] *الضائعى* = المتجول

العصب الإضافى)العصب القحفى الحادى عشر(

العصب الإضافى)الشكل 14.37(يتخذ مسارًا غير معتاد. فهو ينشأ ليس من الدماغ بل من الجزء العلوى من الحبل الشوكى؛ لذلك، وبشكل دقيق، ليس عصبًا قحفيًا حقيقيًا. يصعد بجانب الحبل الشوكى، يدخل التجويف القحفى عبر الثقبة العظمى، ثم يخرج من الجمجمة عبر الثقبة الوداجية، مجمعًا مع العصب المبهم والعصب البلعومى اللسانى. العصب الإضافى هو عصب حركى يتحكم بشكل رئيسى فى البلع وبعض عضلات الرقبة والكتف.

تشمل علامات تلف العصب الإضافى صعوبة فى تحريك الرأس والرقبة والكتفين. يمكن أن يؤدى التلف إلى شلل عضلة القصية الترقوية الخشائية، مما يسبب دوران الرأس نحو الجانب المصاب بواسطة العضلة المقابلة.
يمكن تقييم وظيفة العصب الإضافى من خلال اختبار قدرة الشخص على تدوير الرأس ورفع الكتفين ضد المقاومة.

العصب تحت اللسانى)العصب القحفى الثانى عشر(

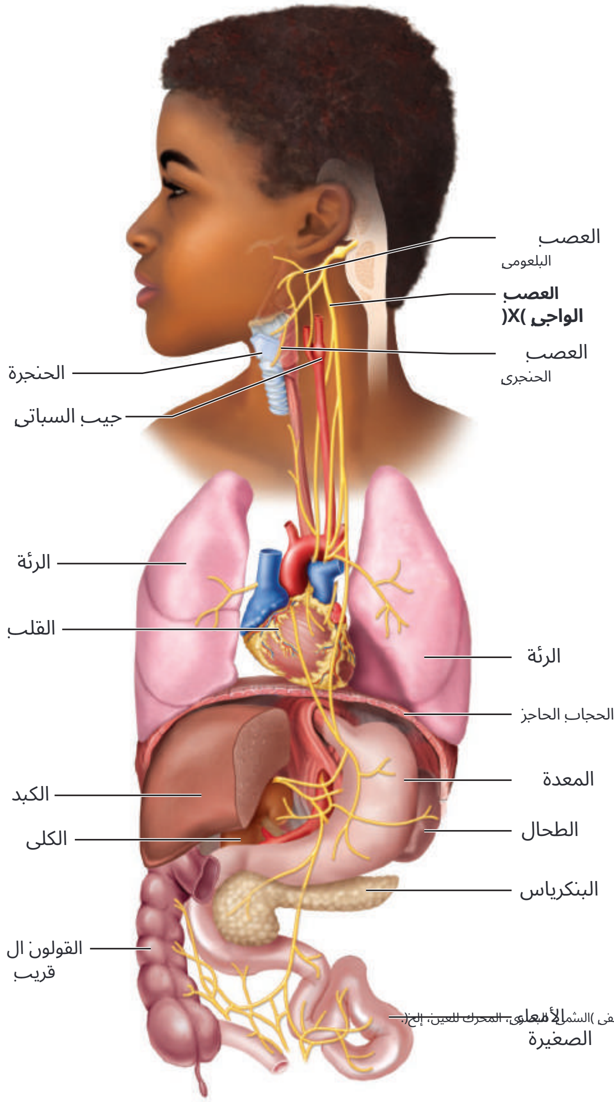
العصب تحت اللسانى (HY-po-GLOSS-ul)[63])الشكل 14.38(هو عصب حركى يتحكم فى حركات اللسان المتعلقة بالكلام، ومناورة الطعام، والبلع. إصابة العصب تحت اللسانى تؤثر على الكلام والبلع. قد يؤدى تلف عصب واحد إلى ضمور اللسان فى ذلك الجانب، وقد ينحرف اللسان جانبياً عندما يُطلب من الشخص إخراجه. تلف كلا العصبين قد يجعل الشخص غير قادر على إخراج اللسان ضد مقاومة أداة ضغط اللسان.

مساعدة تعلم الأعصاب القحفية

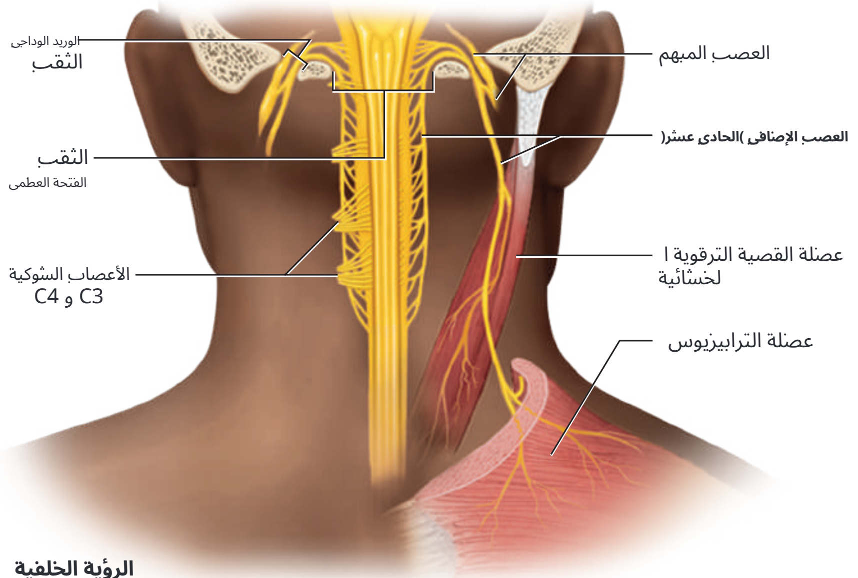
اعتمدت أجيال من طلاب الأحياء والطب على عبارات وأغانى تذكيرية)مساعدة على الذاكرة(، تتراوح بين السخيفة للغاية إلى الفظة التى لا تُطبع، لمساعدتهم على تذكر الأعصاب القحفية.

عبارة كلاسيكية قديمة غالبًا ما يسمعها المرء تبدأ بـ "على قمة أوليمبوس الشامخة..."، حيث تتطابق الحروف الأولى من كل كلمة مع الحرف الأول من كل عصب قحفى)الشمى، البصرى، المحرك للعين، إلخ(.

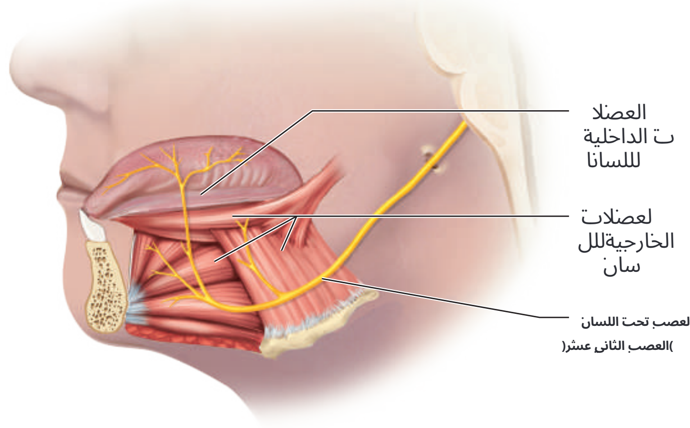
[63] hypo = تحت؛ gloss = اللسان



الشكل 14.36 العصب المبهم)العاشر(. لاحظ كيف أن هذا العصب "يتجول" عبر معظم تجاويف الصدر والبطن، كما يوحى اسمه. APR



الشكل 14.37 العصب الإضافى)العصب القحفى الحادى عشر(. كان يُطلق على هذا العصب سابقًا اسم العصب الإضافى الشوكى، مشيرًا إلى أصوله فى الحبل الشوكى. APR



الشكل 14.38العصب تحت اللسان)العصب الثانى عشر(.لاحظ كيف يقترب هذا العصب من اللسان من الأسفل، كما يوحى اسمه.



... القمم"، مع تطابق الحرف الأول من كل كلمة مع الحرف الأول من كل عصب قحفى)الشمى، البصرى، المحرك للعين، إلخ(. ومع ذلك، فقد تغيرت أسماء بعض الأعصاب القحفية منذ صياغة تلك العبارة ا لتذكيرية. أحد طلاب المؤلف السابقين، وهو الآن طبيب أعصاب، اب تكر العبارة التذكيرية التالية "أولد أوباى" التى يمكن أن تذكرك

بالحروف الأولى من اثنين إلى أربعة)الموضحة بالخط العريض(لمعظم أسماء الأع صاب القحفية:

Ol d	العصب الشمى)الأول(
Op ie	العصب البصرى)الثانى(
يحدث أحيانًا	العصب المحرك للعين)الثالث(
يحاول	العصب البكرى)الرابع(
حساب المثلثات	العصب الثلاثى التوائم)الخامس(
و	العصب المبعد)السادس(
يشعر	العصب الوجهى)السابع(
يحاول	العصب الدهليزى القوقعى)الثامن(
كآبة،	العصب اللسانى البلعومى)التاسع(
غامض،	العصب المبهم)العاشر(
و	العصب الإصافى)الحادى عشر(
نشاط منخفض.	العصب تحت اللسانى)XII(

الجدول 14.1 يلخص الأعصاب القحفية من حيث تركيبها الحس ى، الحركى، أو المختلط، وطائفها، منشأها ونهايتها، والممرات القحف ية)غالبًا الثقوب(التى تمر من خلالها الأعصاب فى طريقها إلى أو من الأعضاء الطرفية.
الشكل 14.40 يستعرض مواقعها على قاعدة الدماغ واتصالاتها الحسية والحركية مع الأعضاء الطرفية.

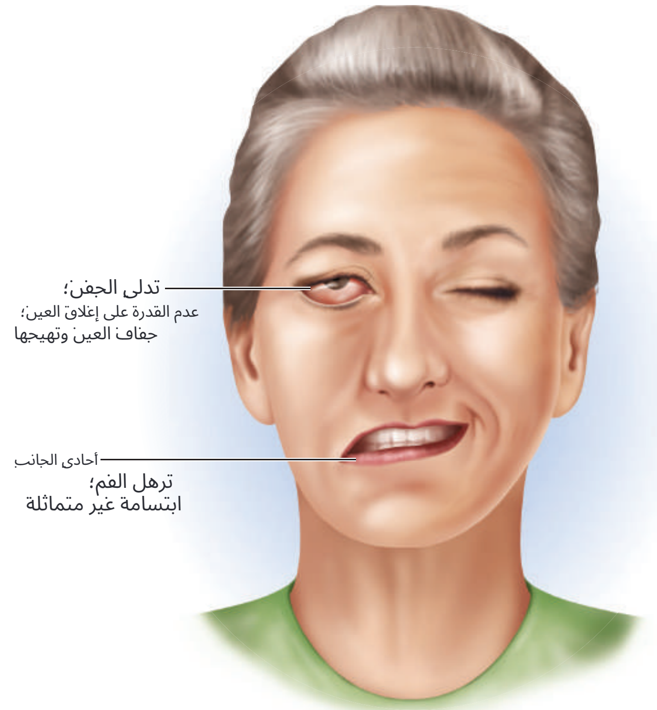
نطرة أعمق 14.4

تطبيق سريرى

بعض اضطرابات الأعصاب القحفية

ألم العصب الثلاثى التوائم التشنج المؤلم[64][65](هو متلازمة تتميز بنوبات متكررة من ألم طاعن شديد فى جانب واحد من الوجه، غالبًا ما يُقارن بصدمة كهربائية، مع فترات خالية من الألم بين النوبات. عادةً ما يكون سببه وعاء دموى قريب، ولكن أ حيانًا ورم يضغط على العصب الثلاثى التوائم. يمكن أن يُثار بلمس الوجه، تنطيف الأسنان بالفرشاة، الشرب، الحلاقة، غسل الوجه، أو حتى نسمة هواء على الوجه. ى ستمر الألم من بضع ثوانٍ إلى دقيقة أو دقيقتين، لكنه قد يحدث حتى 100 مرة ف ى اليوم؛ ويمكن أن يكون الألم لا يُحتمل لدرجة أنه دفع بعض المرضى إلى الانتحار قبل توفر العلاجات. يصيب النساء أكثر من الرجال، وعادةً ما يطهر بعد سن 50. ى مكن علاجه بالأدوية؛ الجراحة الوعائية لتخفيف الضغط على العصب؛ أو جراحة ال سكين الجاما الإشعاعية، التى تستخدم أشعة جاما المستهدفة لإحداث إصابة صغ يرة عمدًا فى العصب وتحفيز عملية الشفاء.

شلل بيل [66] هو اضطراب تنكسى فى العصب الوجهى، ربما بسبب فيروس الهربس الذى يسبب القروح الباردة. يتميز بالشلل أو ضعف عضلات الوجه فى جانب واحد مع تشوهات فى ملامح الوجه، مثل تدلى الفم أو الجفن.
)الشكل 14.39(. قد يتداخل الشلل مع الكلام، ويمنع إغلاق العين، وأحيانًا يعيق إفراز الدموع، مما يسبب جفاف العين.
قد يكون هناك أيضًا فقدان جزئى لحاسة التذوق. قد يطهر شلل بيل فجأة، أحيانًا بين عشية وضحاها، وغالبًا ما يختفى تلقائيًا خلال 3 إلى 5 أسابيع.



الشكل 14.39شلل بيل.علامات تلف العصب الوجهى الأيمن.

[64] neur= عصب؛ algia = ألم
[65] tic = تشنج، تقلص؛ douloureux = مؤلم)فرنسى(
[66] السير تشارلز بيل)1774–1842(، طبيب اسكتلندى

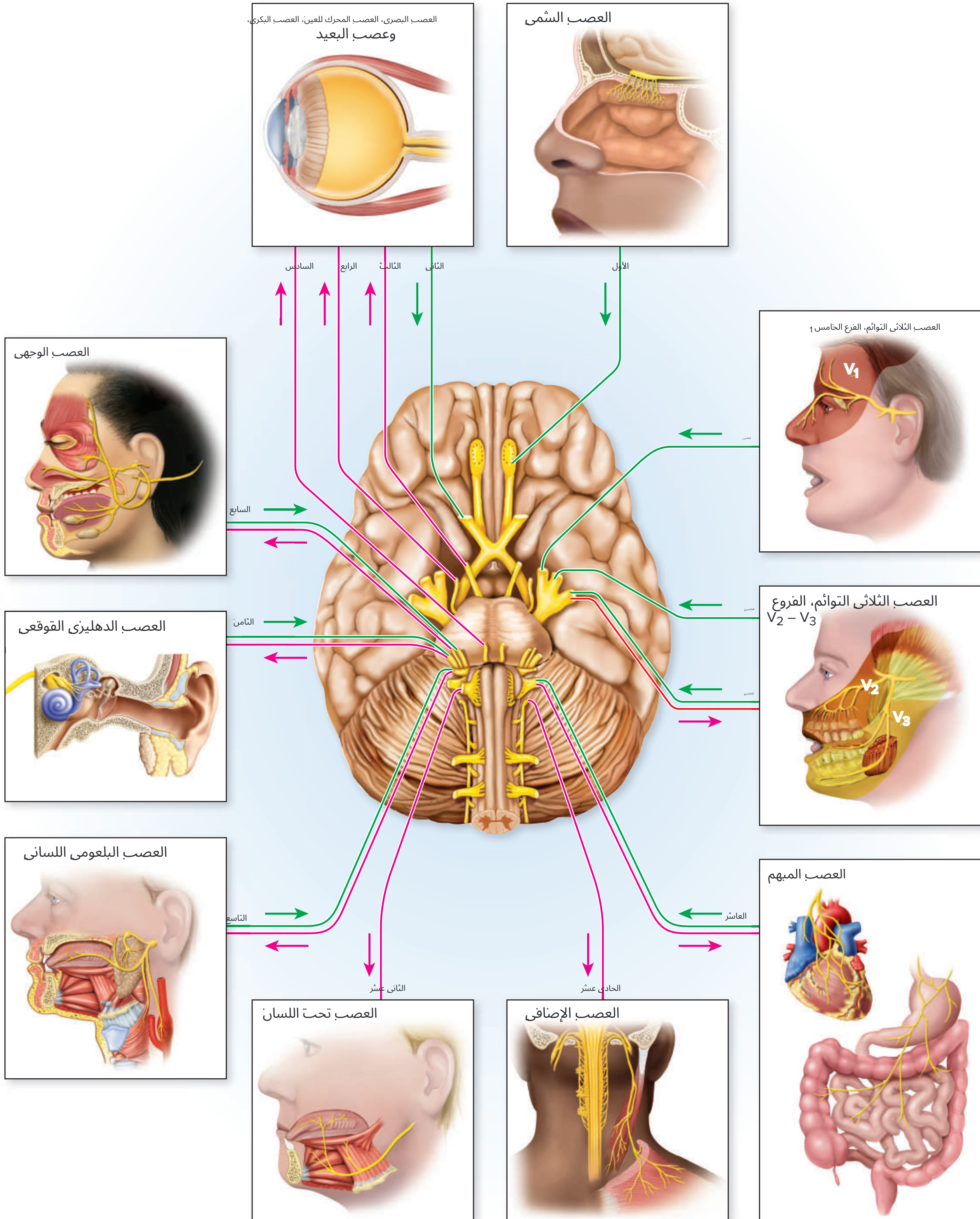
الجدول 14.1 الأعصاب القحفية

الممر الجمجمى	النهاية	الأصل	الوظيفة	التكوين
الأول. العصب الشمى				
الثقوب الغربالية لعظم الغربال	البُصيلات الشمية	الغشاء المخاطى الشمى فى تجويف الأنف	الرائحة	حسى
العصب البصرى الثانى				
الثقب البصرى	المهاد والدماغ المتوسط	الشبكية	الرؤية	حسى
العصب المحرك للعين الثالث				
الشق المدارى العلوى	ألياف جسدية إلى رافع الجفن العلوى؛ العضلات المستقيمة العلوية والوسطى والسفلية؛ والعضلة المائلة السفلية للعين. تدخل الألياف الذاتية إلى كرة العين وتؤدى إلى عضلة تضييق القزحية وعضلة الجسم الهدبى للعدسة.	الدماغ المتوسط	حركات العين، فتح الجفن، تضييق الحدقة، التركيز	حركى
العصب البكرى)العصب الرابع(				
الشق المدارى العلوى	العضلة المائلة العلوية للعين	الدماغ المتوسط	حركات العين	حركى
العصب الثلاثى التوائم)العصب الخامس(				
القسم العينى)V_1(				
الشق المدارى العلوى	الجسر	المنطقة العلوية من الوجه كما هو موضح؛ سطح كرة العين؛ الغدة الدمعية؛ الغشاء المخاطى الأنفى العلوى؛ الجيوب الجبهية والغربالية	الإحساس باللمس والحرارة والألم من الوجه العلوى	حسى
القسم الفكى)V_2(				
الثقب المستدير و الثقب تحت الحجاجى	الجسر	المنطقة الوسطى من الوجه كما هو موضح؛ الغشاء المخاطى الأنفى؛ الجيب الفكى العلوى؛ الحنك؛ الأسنان العلوية واللثة	نفس V_1، أسفل على الوجه	حسى
القسم الفكى السفلى)V_3(				
الثقب البيضاوى	حسى: الجسر حركى: البطن الأمامى للعضلة ذات البطنين؛ العضلة الماضغة، الصدغية، الميلوهويد، وعضلات الجناح؛ العضلة المشددة للطبل فى الأذن الوسطى	حسى: المنطقة السفلية من الوجه كما هو موضح؛ الثلثان الأماميان من اللسان)ولكن ليس براعم التذوق(؛ الأسنان السفلية واللثة؛ أرضية الفم؛ الأم الجافية حركى: الجسر	حسى: نفس V_1 و V_2، أسفل على الوجه حركى: المضغ	مختلط
السادس. العصب المبعد				
الشق المدارى العلوى	عضلة المستقيم الجانبى للعين	الجسر السفلى	حركة العين الجانبية	حركى

الجدول 14.1 **الأعصاب القحفية)تابع(**

الممر الجمجمي	النهاية	الأصل	الوظيفة	التكوين
السابع. العصب الوجهى				
القناة السمعية الداخلية وثقب النتوء الخشائى	الحسى: المهاد الحر كى: الألياف الجسدية إلى ع ضلة ثنائية البطن، عضلة الركا ب فى الأذن الوسطى، عضلة اللامية ا لزجاجية، عضلات تعبير الوجه . الألياف الذاتية إلى الغدد تحت الف ك السفلى وتحت اللسان، غدد الد موع، الغدد الأنفية والحنكية.	الحسى: براعم التذوق فى ثلثى اللسان الأماميين الحركى: الجسر	حسى: التذوق حركى: تعبيرا ت الوجه؛ إفراز الدموع، ا للعاب، المخاط الأنفى و الفموى	مختلط
العصب الثامن: العصب الدهليزى القوقعى				
القناة السمعية الداخلية	الحسى: الألياف المسؤولة عن السمع تنتهى فى النخاع المستطيل؛ الألياف المسؤولة عن التوازن تنتهى عند تقاطع النخاع المستطيل و الجسر الحركى: خلايا الشعر الخارجية فى القوقعة للأذن الداخلية	الحسى: القوقعة، الدهليز، والقنوات نصف الدائرية فى الأذن الداخلية حركى: الجسر	السمع والتوازن	مختلط، غالبًا حسى
العصب اللسانى البلعومى التاسع				
الثقب الوداجى	حسى: النخاع المستطيل حركى : غدة اللعاب النكفية؛ غدد اللسا ن الخلفية؛ العضلة اللسانية البلعومية)التى توسع البلعوم أثناء البلع(	حسى: البلعوم؛ الأذن الوسطى والخارجية؛ الثلث الخلفى من اللسان)بما فى ذلك براعم التذوق(؛ الشريان السباتى الداخلى حركى: النخاع المستطيل	حسى: التذوق؛ اللمس، الضغط، الألم، وح ساسيات الحرارة من اللسا ن والأذن الخارجية؛ تنظيم ضغط الدم والتنفس حركى: إفراز اللعاب، البلع، التقيؤ	مختلط
العصب المبهم العاشر				
الثقب الوداجى	الحسى: النخاع المستطيل الحركى: اللسان، الحنك، البلعوم، الحنجرة، الرئتان، القلب، الكبد، الطحال، الجهاز الهضمى، الكلية، الحالب	الحسى: الأحشاء الصدرية و البطنية الحوصنية، جذر اللسان، البلعوم، الحنجرة، لسان المزمار، الأذن الخارجية، الأم الجافية حركى: النخاع المستطيل	حسى: التذوق؛ حساسيات الجوع، الشبع، وعدم الراحة فى الجهاز الهضمى حركى: البلع، الكلام، إ بطاء نبض القلب، تضيق الشعب الهوائية، إ فراز وحركة الجهاز اله ضمى	مختلط
العصب الحادى عشر الإضافى				
الثقب الوداجى	الحنك، البلعوم، عضلات الترابيز و العضلة القصية الترقوية الخشائية	مقاطع الحبل الشوكى من C1 إلى C6	البلع؛ حركات الرأس، الرقبة، والكتف	حركى
العصب الثانى عشر تحت اللسانى				
القناة تحت اللسانية	العضلات الداخلية والخارجية لل لسان	النخاع المستطيل	حركات اللسان فى الكلام، معالجة الطعام، والبلع	حركى

الشكل 14.40 مراجعة مسارات الأعصاب القحفية. تُظهر المسارات المتعلقة بالوظيفة الحسية باللون الأخضر، وتلك المتعلقة بالوظيفة الحركية باللون الأرجواني. تم حذف الإحساس بالموضع)الحس العميق(.



الجدول 14.2	بعض الاضطرابات المرتبطة بالدماغ والأعصاب القحفية
الشلل الدماغى	عدم تنسيق عضلى ناتج عن تلف فى المناطق الحركية من الدماغ أثناء التطور الجنينى أو الولادة أو الرضاعة؛ تشمل الأسباب عدوى الحصبة الألمانية قبل الولادة، الأدوية، أو التعرض للإشعاع؛ نقص الأكسجين أثناء الولادة؛ و استسقاء الرأس
ارتجاج الدماغ	تلف فى الدماغ ناتج عادة عن ضربة، غالبًا مع فقدان الوعى، واضطرابات فى الرؤية أو التوازن، وفقدان ذاكرة قصير الأمد
التهاب الدماغ	التهاب فى الدماغ يصاحبه حمى، وعادة ما يسببه فيروسات منقولة بواسطة البعوض أو فيروس الهربس البسيط؛ يسبب تنكسًا ونخرًا عصبيًا؛ قد يؤدى إلى الهذيان، والنوبات، والوفاة
الصرع	اضطراب يسبب تفريغًا مفاجئًا وكبيرًا للخلايا العصبية)نوبات(يؤدى إلى تشنجات حركية، واضطرابات حسية ونفسية، وغالبًا ضعف فى الوعى؛ قد ينتج عن تشوه دماغى خلقى، صدمة الولادة، صدمة دماغية لاحقة، أورام، تعاطى المخدرات أو الكحول، أو العدوى
صداع الشقيقة	صداع متكرر غالبًا ما يصاحبه غثيان، وقىء، ودوار، وكراهية للضوء، وغالبًا ما تُحفز بواسطة عوامل مثل تغيرات الطقس، التوتر، الجوع، النبيذ الأحمر، أو الضوضاء؛ أكثر شيوعًا بين النساء وأحيانًا يكون وراثيًا
الفصام	اضطراب فكرى يتضمن أوهامًا، هلوسات، استجابات عاطفية غير مناسبة للمواقف، كلام غير مترابط، وانسحاب من المجتمع، ناتج عن اضطرابات وراثية أو تطورية فى الشبكات العصبية

يمكنك العثور على اضطرابات أخرى فى الدماغ والأعصاب القحفية موصوفة فى الأماكن التالية:

استسقاء الرأس فى نظرة أعمق 8.1؛ أورام الدماغ فى نظرة أعمق 12.1؛ التصلب المتعدد و مرض تاى-ساكس فى نظرة أعمق 12.2؛ مرض باركنسون و مرض الزهايمر فى نظرة أعمق 12.4؛ مرض باركنسون، مرض هنتنغتون، و الترنح المخيخى فى القسم 14.5ح؛ التهاب السحايا فى نظرة أعمق 14.1؛ السكتة الدماغية فى نظرة أعمق 14.2؛ فقدان الذاكرة فى القسم 14.5د؛ فقدان النغمة الصوتية و فقدان الكلام فى القسم 14.5ح؛ و ألم العصب الثلاثى التوائم و شلل بيل فى نظرة أعمق 14.4.

مثل آلة تحتوى على عدد كبير من الأجزاء المتحركة، فإن الجهاز العصبى عرضة بشدة للأعطال. الجدول 14.2 يسرد بعض اضطرابات الدماغ والأعصاب القحفية المعروفة. تم وصف تأثيرات التقدم فى العمر على الجهاز العصبى المركزى فى الفصل 29.

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

25. اذكر الأعصاب القحفية الحسية البحتة وبيّن وظيفة كل منها.

26. ما هو العصب القحفى الوحيد الذى يمتد إلى ما وراء منطقة الرأس والرقبة؟

27. إذا تضرر العصب المحرك للعين)العصب العينى الحركى(، أو العصب البكرى)العصب البكرى(، أو العصب المبعد، فسيكون التأثير مشابهًا فى جميع الحالات الثلاث. ما هو ذلك التأثير؟

28. أى عصب قحفى يحمل إشارات حسية من أكبر منطقة فى الوجه؟

29. اذكر اسم عصبين جمجمية يشاركان فى حاسة التذوق ووضح من أين تنشأ أليافهما الحسية.



رؤية أعمق 14.5

تطبيق سريرى

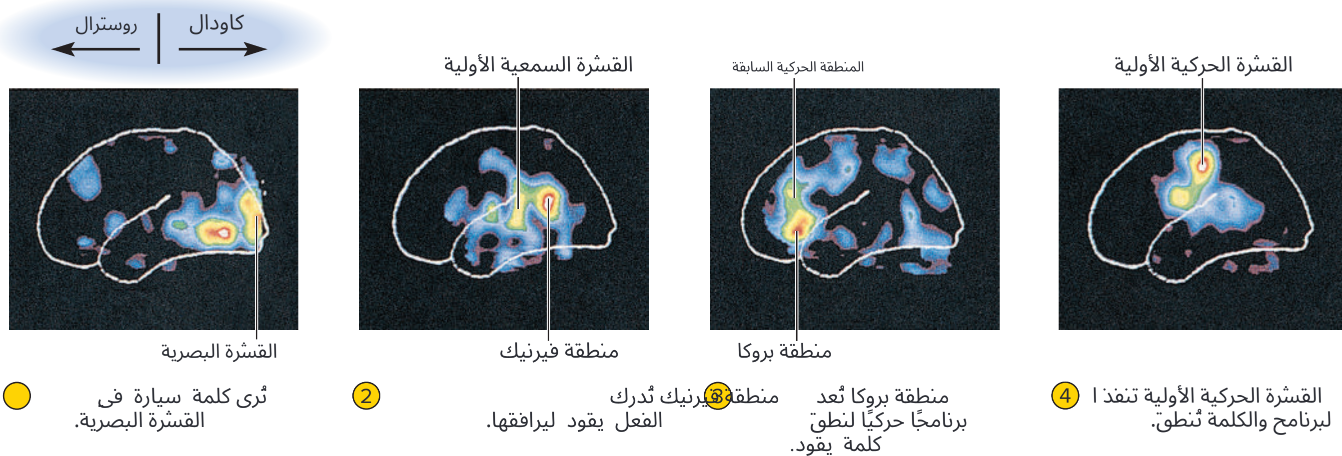
صور العقل

نظرًا لأنه محاط داخل الجمجمة، لا توجد طريقة سهلة لمراقبة الدماغ الحى مباشرة.
لقد كان هذا مصدر إحباط طويل الأمد لعلماء الأعصاب، الذين كان عليهم فى ال
سابق الاكتفاء بلحظات من وظيفة الدماغ التى توفرها تخطيطات الدماغ الكهربائية
، والمرضى الذين يعانون من آفات دماغية، والمرضى الذين ظلوا مستيقظين وم
تحدثين أثناء جراحة الدماغ ووافقوا على التجارب أثناء تعرض الدماغ. ومع ذلك، ف
قد وفرت طرق التصوير الأحدث رؤى دراماتيكية حول وظيفة الدماغ. اثنان من هذ
ه الطرق — التصوير المقطعى بالإصدار البوزيترونى)PET(والتصوير بالرنين المغ
ناطيسى)MRI(— تم شرحهما فى نظرة أعمق 1.5. تعتمد كلتا التقنيتين على الز
يادات المؤقتة فى تدفق الدم إلى أجزاء من الدماغ تُستدعى لأداء مهام محددة. من
خلال مراقبة هذه التغيرات، يمكن لعلماء الأعصاب تحديد أى أجزاء الدماغ تشارك
فى مهام معينة.

لإنتاج تصوير PET للدماغ، يتم حقن المريض بجلوكوز موسوم إشعاعياً ويتم إجر
اء المسح فى حالة السيطرة قبل بدء أى مهمة ذهنية محددة. ثم يُطلب من المر
يض أداء مهمة—على سبيل المثال، قراءة كلمة سيارة والتفكير فى والتحدث عن
فعل مرتبط بها، مثل القيادة. أثناء قيام المريض بذلك، يتم إجراء مسحات جديد
ة فى حالة المهمة.
لا تكشف صور حالة التحكم أو حالة المهمة عن الكثير بمفردها،
لكن الكمبيوتر يطرح بيانات حالة التحكم من بيانات حالة المهمة
ويعرض صورة ملونة للفرق.
فى مثل هذه الصور، "تضىء" أكثر مناطق الدماغ نشاطًا على شاشة الكمبيوتر
من لحظة إلى أخرى أثناء أداء المهمة.
)الشكل 14.41(. يحدد هذا المناطق المستخدمة لمراحل مختلفة من المهمة، مثل
قراءة الكلمة، التفكير فى فعل مرتبط بها، التخطيط لقول قيادة، والقول الفعلى
لها. من بين أمور أخرى، تُظهر هذه التجارب \أن منطقتى بروكا وفيرنيك ليستا م
تورطتين فقط فى تكرار الكلمات؛ بل تنشطان عندما يجب على الشخص تقييم ك
لمة واختيار استجابة مناسبة — أى أنهما تعملان فى صياغة الكلمة الجديدة التى
سيقولها الشخص.

تُظهر فحوصات PET أيضًا أن مجموعات عصبية مختلفة تتولى المهمة مع
ممارستنا وتحسننا فيها.
يعتمد التصوير بالرنين المغناطيسى الوظيفى)fMRI(على دور الخلايا النجمية
فى أيض الدماغ. الناقل العصبى المنشط الرئيسى الذى تفرزه الخلايا العصبية الدم
اغية هو الجلوتامات. بعد أن يفرز العصبون الجلوتامات وينبه العصبون التالى، تزى
ل الخلايا النجمية الجلوتامات بسرعة من المشبك وتحولها إلى جلوتامين. تحصل
على الطاقة اللازمة لذلك من التخمر اللاهوائى للجلوكوز. لذلك، يتطلب النشاط الع
الى فى منطقة من القشرة زيادة تدفق الدم لتزويد هذه الجلوكوز، لكنه لا يزيد من ا
ستهلاك الأكسجين من ذلك الدم. وهكذا، يتجاوز إمداد الأكسجين الطلب فى ذلك
الجزء من الدماغ، ويحتوى الدم الذى يغادر المنطقة على كمية أكسجين أكثر من ا
لدم الذى يغادر المناطق الأقل نشاطًا.

نظرًا لأن الخصائص المغناطيسية للهيموغلوبين تعتمد على كمية الأكسجين المر
تبطة به، يمكن لـ fMRI اكتشاف التغيرات فى دوران الدماغ.
يتميز fMRI بدقة أعلى من PET ويحدد مناطق نشاط الدماغ
بدقة تتراوح بين 1 إلى 2 ملم. كما أن له مزايا عدم الحاجة إلى
حقن مواد أو التعرض للنظائر المشعة. بينما يستغرق إنتاج
مسح PET حوالى دقيقة واحدة، ينتج fMRI الصور بسرعة أكبر، مما
يجعله أكثر فائدة لتحديد كيفية استجابة الدماغ فورًا للمثيرات
الحسية أو المهام الذهنية.
لقد عززت التطورات المتقدمة فى تقنيات PET و fMRI معرفتنا بأنماط نشاط
الدماغ المتغيرة المرتبطة بالانتباه والوعى، الإدراك الحسى، الذاكرة، العاطفة، التح
كم الحركى، القراءة، التحدث، الحكم الموسيقى، تخطيط استراتيجية الشطرنج، وما
إلى ذلك. بالإضافة إلى مساهمتها فى علوم الأعصاب الأساسية، فإن هذه التقنيا
ت ذات قيمة عالية فى جراحة الأعصاب وعلم الأدوية النفسية. لقد عززت فهمنا ل
لاضطرابات مثل الاكتئاب، الفصام، واضطراب نقص الانتباه مع فرط النشاط)AD
HD(. أدخلت هذه الأساليب عصرًا مثيرًا من التصوير الآمن لوظائ
ف الدماغ، منتجة صورًا للعقل أثناء العمل.



الشكل 14.41 مسوحات PET للدماغ أثناء أداء مهمة لغوية. تُظهر هذه الصور المناطق القشرية النشطة عندما يقرأ الشخص الكلمات ثم ينطقها. تُعرض المناطق الأكثر نشاطًا باللون الأحمر والمناطق الأقل نشاطًا باللون الأزرق.

(all): بإذن من الدكتور ماركوس إى. رايشل، دكتور فى الطب، كلية الطب بجامعة واشنطن

دراسة دليل

قيّم نتائج تعلمك

لاختبار معرفتك، ناقش المواضيع التالية مع شر يك دراسة أو كتابةً، ويفضل من الذاكرة.

14.1 نظرة عامة على الدماغ

1. الكتلة النموذجية لدماغ البالغ
2. معانى المصطلحات الاتجاهية *الأمامى* و *الخلفى* فى تشريح الدماغ
3. الثلاثة أقسام الرئيسية للدماغ
4. أسماء طيات الأنسجة والأخاديد السطح ية فى المخ والمخيخ، وأسماء الأخاديد العميقة بين نصفى الكرة المخية وبين المخ والمخيخ
5. مواقع المادة الرمادية والبيضاء فى المخ والمخ يخ؛ تركيب المادة الرمادية والبيضاء وكيف ير تبط ذلك بلونهما؛ ومعنى *القشرة*، النواة، و الحزمة بالنسبة للمادة الرمادية وال بيضاء فى الدماغ
6. التطور الجنينى للدماغ من الصفيحة العصبي ة إلى مرحلة الأنبوب العصبى؛ التمايز إلى الدما غ الأمامى، الدماغ المتوسط، والدماغ الخلفى؛ تطور الحويصلات الدماغية الجنينية الخم س؛ واسم ومصير كل حويصلة

14.2 السحايا، البطينات، السائل الدماغى الشوكى وتروية الدم

1. السحايا الثلاثة للدماغ؛ تقسيمان فرعيان للأم ا لجافية؛ والعلاقة بين الجيوب الجافية ومساح ة تحت العنكبوتية مع السحايا
2. بطينات الدماغ، أسماؤها ومواقعها، والمم رات التى تربط بينها
3. العلاقة بين خلايا الإبينديم والضفائر المشيمية مع بطينات وأنابيب الدماغ
4. مصادر، تدفق، إعادة امتصاص، ووظائف ال سائل الدماغى الشوكى (CSF)
5. احتياجات الدماغ من تدفق الدم، الجلوكوز، والأكسجين بالنسبة لنسبة وزنه من الجسم
6. تركيب ووظيفة الحاجز الدموى الدماغ ى وحاجز الدم–السائل الدماغى الشوكى، والأهمية السريرية لنطاق الحاجز الدماغ ى
7. مواقع، الطبيعة الهيكلية، الوظيفة، والأهمية السريرية للأعضاء المحيطة بالبطين

14.3 الدماغ الخلفى والدماغ المتوسط

1. النخاع المستطيل: موقعه، التشريح العام، وا لوظائف العامة؛ الأعصاب القحفية التى تنشأ منه؛ والوظائف المحددة لكل من مساراته ونوياته
2. الجسر: موقعه، التشريح العام، والوظائف؛ ا لأعصاب القحفية التى تنشأ من الجسر ومن الأخدود بين الجسر والنخاع؛ ومساهماته فى ا لنطاق الجانبى الأمامى والمسار الشوكى الم خيخى الأمامى
3. الدماغ المتوسط: موقعه، التشريح العام، والو ظائف العامة؛ الأعصاب القحفية التى تنشأ م نه؛ والوظائف المحددة للتلال، المادة السوداء، والمادة الرمادية المركزية
4. كيف يرتبط التكوين الشبكى بالمناطق السا بقة من جذع الدماغ من حيث الموقع، اله يكل، والوظائف
5. المخيخ: موقعه، التشريح العام، أنواع الخلايا الع صبية الفريدة، أزواجه الثلاثة من السيقان، و علاقتها بالمدخلات والمخرجات المخيخية
6. النظرة الكلاسيكية لوظيفة المخيخ وكيف توسع ت مؤخراً نتيجة دراسات تصوير الدماغ ودرا سات الأشخاص الذين يعانون من آفات مخي خية

14.4 الدماغ الأمامى

1. الجزآن الرئيسيان للمخ الأمامى
2. الأجزاء الرئيسية الثلاثة للدماغ البينى
3. وظائف المهاد، الموقع، والتشريح العام
4. وظائف تحت المهاد، الموقع، التشريح الع ام، والعلاقات التشريحية والفسيولوجية مع ا لغدة النخامية
5. الموقع، المكونات، ووظائف فوق المهاد
6. التشريح العام لنصفى الكرة المخية، فصوصهم ا الخمسة، ووظائف كل فص
7. ثلاثة أنواع من المسارات المخية والاختلافات التشريحية والوظيفية المحددة لها
8. ثلاثة مواقع للمادة الرمادية المخية
9. سمك، امتداد، والكمية النسبية للنسيج وعدد ا لخلايا العصبية فى قشرة المخ
10. نوعان من الخلايا العصبية فى قشرة المخ و شكلها
11. الاختلافات التطورية والبنيوية بين الأركى كورتكس، الباليكورتكس، و النيكورتكس، ومواقع كل منها فى الدماغ ا لبشرى
12. موقع ومكونات ووظائف الجهاز الحوفى
13. أسماء ومواقع ووظائف النوى القاعدية

14.5 الوظائف التكاملية للدماغ

1. أربعة أنواع من موجات الدماغ فى تخطيط الدماغ الكهربائى (EEG)، والحالات التى يهيمن فيها كل نوع عادة عل ى تخطيط الدماغ الكهربائى، والأهمية السريرية لتخطيط الدماغ ا لكهربائى
2. مراحل النوم؛ الخصائص الفسيولوجية لكل منه ا؛ أدوار الوطاء (الهيبوثالاموس)، التكوين الس بكى، الميلاتونين، والأوريكسينات فى تنظيم دو رة النوم؛ والنظريات المتعلقة بوظائف النوم
3. مناطق الارتباط فى قشرة المخ؛ مشاركة بعض هذه المناطق فى الوظائف الإدراكية؛ و مساهمات مرضى إصابات الدماغ وطرق تصو ير الدماغ فى فهم التوزيع الإقليمى للوظائف الإدراكية
4. مناطق الدماغ المشاركة فى الذاكرة؛ أشكال فقدان الذاكرة (الأمنيزيا)
5. مناطق الدماغ المشاركة فى العاطفة، والرؤى المتعلقة بعلم الأعصاب للعاطفة من دراسات إ صابات الدماغ، الاستئصال، وتحفيز الدماغ
6. مناطق الدماغ المشاركة فى الحواس الخا صة والعامة
7. العلاقة الوظيفية بين القشرة الحسية الأولية وم ناطق ارتباط الحواس
8. موقع التلافيف بعد المركزى؛ وظيفته الح سية الجسدية؛ التوزيع الجسدى كما هو مو ضح فى الهومونكولوس الحسى؛ وتأثير التقاط ع العصبى على وظيفته
9. مواقع التلافيف قبل المركزى ومنطقة ارتباط ا لحركة؛ أدوارها فى التحكم الحركى؛ التوزيع الح سدى للتلفيف كما هو موضح فى الهومونكولو س الحركى؛ وتأثير التقاطع العصبى على وظي فتها
10. العصبونات الحركية العليا والسفلى ومسا ر محاورها العصبية
11. أدوار النوى القاعدية والمخيخ فى تنسيق الحر كة والمهارات الحركية المكتسبة
12. تأثيرات مرض باركنسون وآفات النوى القاعدية على التحكم الحركى
13. مواقع منطقتى فيرنيك وبروكا؛ أدوارهما فى ا للغة؛ تفاعل منطقة بروكا والتلفيف المركز ى الأمامى فى الكلام؛

دليل الدراسة

من الدقة تماماً تسميتها بالأعصاب الحركية فقط

3. لكل عصب قحفى، موقعه، وظائفه، منشأه، نهايته، ومروره عبر الجمجمة

4. علامات تلف كل عصب قحفى، وطرق الفحص السريرية للكشف عن التلف

14.6 الأعصاب القحفية

1. أسماء وأرقام أزواج الأعصاب القحفية الاثنى عشر، وعلاقاتها بجذع الدماغ وفتحات الجمجمة

2. أى الأعصاب القحفية هى حسية بحتة، وأيها مختلطة، وأيها اعتُبرت تقليديًا حركية، ولماذا لا يُعتبر ذلك

وأشكال الأفازيا وغيرها من عجز اللغة الناتج عن تلف مراكز اللغة

14. التخصص النصفى الدماغى؛ الفروق الوظيفية بين نصفى الكرة الدماغية التصنيفى والتمثيلى؛ ولماذا لا يمكن القول بأن وظيفة معينة تكون بالضرورة "متمركزة فى الجانب الأيمن" أو "متمركزة فى الجانب الأيسر"

اختبار استرجاعك

الإجابات فى الملحق أ

1. أى من هذه تقع خلف (أسفل) الوطاء؟
أ. المهاد
ب. التصالب البصرى
ج. القناة الدماغية
د. الغدة النخامية
هـ. الجسم الثفنى

2. إذا تمت إزالة الدماغ النهائى من جنين عمره 5 أسابيع، أى من الهياكل التالية سيفشل فى التطور فى الجنين؟
أ. نصفى الكرة المخية
ب. المهاد
ج. المخ المتوسط
د. النخاع المستطيل
هـ. الحبل الشوكى

3. الحاجز الدموى-السائل الدماغى الشوكى يتكون من
أ. الشعيرات الدموية الدموية
ب. الخلايا البطانية.
ج. الخلايا النجمية البروتوبلازمية.
د. الخلايا قليلة التغصن.
هـ. الخلايا البطانية (الإبنديمية).

4. الأهرامات فى النخاع المستطيل تحتوى على
أ. الألياف القشرية الشوكية النازلة.
ب. الألياف الموصلة بين نصفى الدماغ (الألياف الجسرية).
ج. الألياف الصاعدة الشوكية المخيخية.
د. الألياف المتجهة إلى ومن المخيخ.
هـ. الألياف الصاعدة من الحبل الشوكى إلى المهاد.

5. أى مما يلى *لا* يستقبل أى مدخلات من العينين؟
أ. تحت المهاد
ب. الفص الجبهى
ج. المهاد
د. الفص القذالى
هـ. المخ المتوسط

6. أثناء الدراسة فى مقصف صاخب، تشعر بالنعاس وتغفو لبضع دقائق. تستيقظ فجأة وتدرك أن جميع أصوات المقصف قد "عادت للتو". أثناء غفوتك، تم حجب هذه المدخلات السمعية من الوصول إلى قشرة السمع الخاصة بك بواسطة
أ. الفص الصدغى.
ب. الوطاء.
ج. نظام التنشيط الشبكى.
د. النخاع المستطيل.
هـ. العصب الدهليزى القوقعى.

7. بسبب آفة دماغية، لا يشعر مريض معين أبداً بالشبع، لكنه يأكل بشكل مفرط حتى وصل وزنه الآن إلى ما يقرب من 270 كجم (600 رطل). من المرجح أن تكون الآفة فى
أ. تحت المهاد.
ب. اللوزة الدماغية.
ج. الحصين.
د. العقد القاعدية.
هـ. الجسر.

8. الـ ______ مرتبط ارتباطًا وثيقًا بـ المخيخ فى التطور الجنينى ويطل المصدر الرئيسى لألياف الإدخال طوال الحياة.
أ. المخ النهائى
ب. المهاد
ج. الدماغ المتوسط
د. الجسر
هـ. النخاع

9. العصب قد يؤدى إلى ______ تلف عيوب فى حركة العين.
أ. بصرى
ب. العصب المبهم.
ج. العصب الثلاثى التوائم.
د. العصب الوجهى.
هـ. العصب البعيد

10. جميع ما يلى *ما عدا* العصب ______ العصب يبدأ أو ينتهى فى المدار.
أ. بصرى
ب. العصب المحرك للعين
ج. العصب البكرى
د. العصب البعيد
هـ. ملحق

11. الجزء الأيمن والأيسر من نصفى الكرة المخية مرتبطان ببعضهما بواسطة حزمة سميكة على شكل C من الألياف تُسمى ______.

12. يحتوى الدماغ على أربع حجرات تُسمى ______ مملوءة بـ ______ سائل.

13. على مستوى السهمى، يظهر المادة البيضاء للمخيخ نمطًا متفرعًا يُسمى ______.

14. العصب القحفى الوحيد الذى يتحكم مباشرة فى الجهاز الهضمى السفلى هو ______.

15. يتم إفراز السائل الدماغى الشوكى جزئياً بواسطة كتلة من الشعيرات الدموية تُسمى ______ فى كل بطين.

16. المنطقة الحركية الأولية فى المخ هى التلفيف فى الفص الجبهى. ______

17. أى فص من فصوص المخ من المرجح أن يسبب تغيراً جذرياً فى الشخصية؟

18. المناطق فى قشرة المخ التى تحدد أو تفسر المعلومات الحسية تُسمى ______.

19. التفكير الخطى، التحليلى، واللفظى يحدث فى ______ نصف الكرة للمخ، والذى يكون فى الجانب الأيسر لدى معظم الأشخاص.

20. العصب القحفى الذى يتحكم فى معظم تعابير الوجه هو ______، فى حين أن العصب الذى يشعر من خلاله الشخص بمعظم الإحساسات الوجهية هو ______.

دراسة دليل

بناء مفرداتك الطبية

الإجابات فى الملحق أ

اذكر معنى كل عنصر من عناصر الكلمة، وقدم مصطلحًا طبيًا من هذا الفصل يستخدمه أو تعديلًا طفيفًا عليه.

1. -اَلجيَا)ألم(
2. سِيفَالُو-)رأس(
3. سِيرِيبْرُو-)دماغ(
4. كُورْبُو-)جسم(
5. إنْسِيفَالُو-)دماغ(
6. -غْرَام)تسجيل(
7. إنسولو-
8. أوكولو-
9. تروكل-
10. -أنكل

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

الإجابات فى الملحق أ

اشرح بإيجاز لماذا كل من العبارات التالية خاطئة، أ و أعد صياغتها لتصبح صحيحة.

1. تتحكم حركات العين بشكل رئيسى فى العصب البصرى والعصب المحرك للعين.
2. لن تتطور نصفى الكرة المخية إذا تم تدم ير التلال العصبية للجنين.
3. الميدبرين يقع خلف الجسر.
4. منطقة بروكا تقع فى الجانب المقابل لم نطقة فيرنيك.
5. يتم إنتاج كل السائل الدماغى الشوكى بواسطة ا لضفائر المشيمية.
6. السمع هو وظيفة الفص القذالى.
7. يتم التحكم فى التنفس بواسطة النوى فى الوطاء.
8. العصب الوجهى يحمل إشارات حسية من منطقة أكبر من الوجه مقارنة بأى عصب قح فى آخر.
9. تغذى جميع الأعصاب القحفية أعضاء منط قة الرأس والرقبة.
10. معظم خلايا الدماغ العصبية توجد فى القشرة الدماغية.

اختبار فهمك

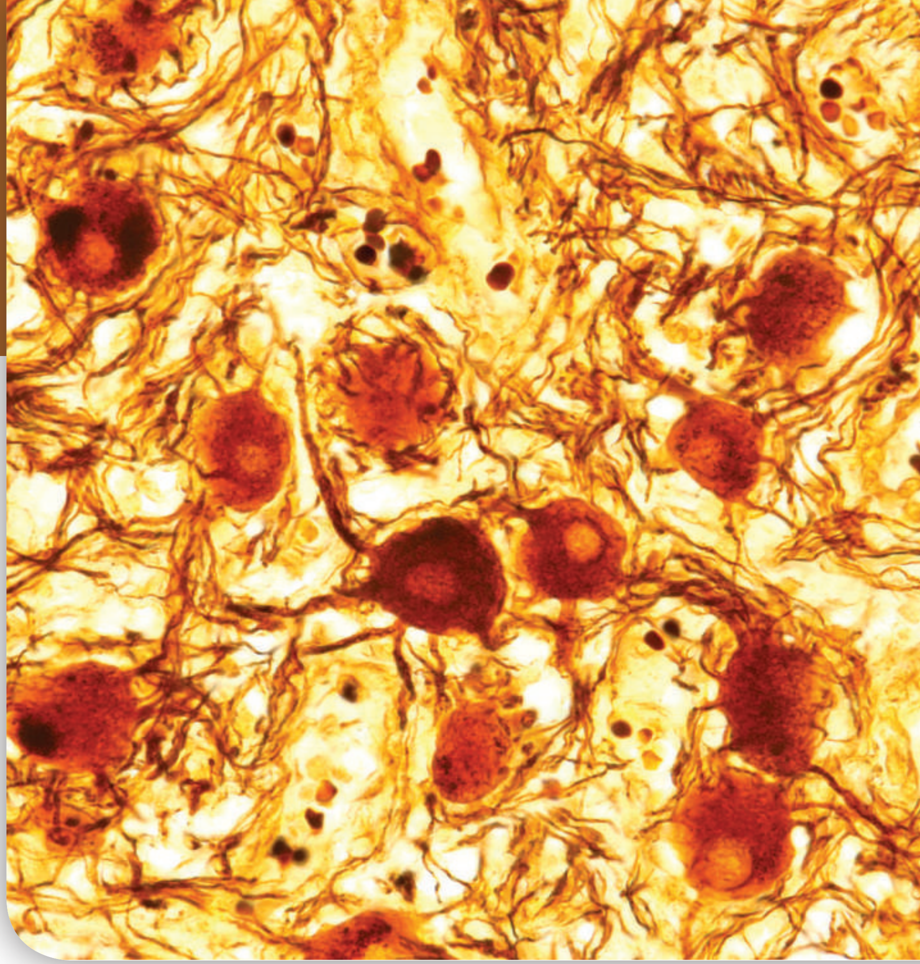
1. أى عصب جمجمى ينقل إشارات الألم إلى الدماغ فى كل من الحالات التالية؟ أ) يدخل الرمل فى عينك؛ ب) تعص الجزء ا لخلفى من لسانك؛ ح) يؤلمك معدتك من كثرة الأكل.
2. كيف يختلف التلف فى المخيخ عن التلف فى النوى القاعدية فيما يتعلق بوظيفة ع ضلات الهيكل العظمى؟
3. افترض أن علماء التشريح العصبى أجروا تج ربتين على حيوان مع له نفس التركيب الأساسى لجذع الدم اغ مثل الإنسان. فى التجربة الأولى، قاموا بق طع محدد)قطع عرضى(للأهرامات على الجا نب الأمامى للنخاع المستطيل؛ وفى التجربة ا لثانية، قطعوا بشكل محدد الحزم الرقيقة والح زم الإسفينية على الجانب الخلفى. كيف ستخ تلف نتائج التجربتين؟
4. يمكن للشخص أن يعيش بعد تدمير نصف كرة دماغية كاملة ولكنه لا يستطيع النجاة من تدمير الوطاء، وهو كتلة أصغر بكثير من نسيج الدماغ. اشرح هذا الاختلاف ووصف بعض ا لطرق التى يمكن أن يؤثر بها تدمير نصف ال كرة الدماغية على جودة حياة الفرد.
5. ما هى أكثر التأثيرات وضوحًا للآفات التى دمر ت كلًا من التالى:)أ(الحُصين،)ب(اللوزة الدماغية،)ح(منط قة بروكا،)د(الفص القذالى، و)هـ(العصب تحت اللسانى؟

الفصل

15

الجهاز العصبى الذاتى الجهاز العصبى

الذاتى وردود الفعل الحشوية



خلايا عصبية لعقدة الودى

خوسيه لويس كالفو / Shutterstock

رؤى أعمق

15.1 التطبيق السريرى: تضخم القولون

15.2 التطبيق السريرى: الأدوية والجهاز العصبى

مخطط الفصل

Anatomy & Physiology Revealed® 4.0

الوحدة 7: الجهاز العصبى

الخصائص العامة ل الجهاز العصبى الذاتى 15.1

نتائج التعلم المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. شرح كيف يختلف الجهاز العصبى الذاتى والجسدى فى الشكل والوظيفة؛ و

ب. اشرح كيف يختلف القسمان من الجهاز العصبى الذاتى فى الو ظيفة العامة.

الجهاز العصبى الذاتى)ANS(يمكن تعريفه بشكل ضيق كنظام عصبى حركى يتحكم فى الغدد، والعضلات القلبية، والعضلات الملساء. يُطل ق عليه أيضًا اسم النظام الحركى الحشوى لتمييزه عن النظام الحركى ا لجسدى الذى يتحكم فى العضلات الهيكلية. الأعضاء المستهدفة الرئ يسية للجهاز العصبى الذاتى هى الأحشاء فى تجاويف الصدر والبطن و الحوض وبعض تراكيب جدار الجسم، بما فى ذلك الأوعية الدموية الج لدية، والغدد العرقية، وعضلات رفع الشعر.

عادةً ما ينفذ الجهاز العصبى الذاتى أفعاله بشكل لا إرادى، دون قصد أو وعى، على عكس الطبيعة الإرادية للنظام الحركى الجسدى. وم ع ذلك، فإن التمييز بين الإرادى واللا إرادى ليس واضحًا تمامًا كما قد يبدو. بعض استجابات العضلات الهيكلية تكون لا إرادية تمامًا، مثل ا لمنعكسات الجسدية، وبعض العضلات يصعب أو يستحيل التحكم بها، مثل عضلات الأذن الوسطى. من ناحية أخرى، أظهرت الاستخدام ات العلاجية للتغذية الراجعة البيولوجية أن بعض الأشخاص يمكنهم تعلم التحكم الإرادى فى وظائف ذاتية حشوية مثل ضغط الدم ومعدل ضربات القلب.

المؤثرات الحشوية لا تعتمد على الجهاز العصبى الذاتى للقيام بو ظيفتها، بل فقط لضبط نشاطها وفقًا لاحتياجات الجسم المتغيرة. عل ى سبيل المثال، يستمر القلب فى النبض حتى لو تم قطع جميع الأع صاب المتصلة به، لكن الجهاز العصبى الذاتى عادةً ما يضبط معدل ضربات القلب فى حالات الراحة أو التمرين. إذا تم قطع الأعصاب الح سدية المتصلة بعضلة هيكلية، تظهر العضلة شللًا رخويًا — أى أنها ت توقف عن العمل. ولكن إذا تم قطع الأعصاب الذاتية المتصلة بعضلة قلبية أو ملساء، تظهر العضلة استجابات مبالغ فيها)فرط الحساسية بعد فقدان التعصيب(.

15.1أ المنعكسات الحشوية

الجهاز العصبى الذاتى مسؤول عن المنعكسات الحشوية فى الجسم — استجابات لا واعية، تلقائية، نمطية للتحفيز، تشبه إلى حد كبير الم نعكسات الجسدية التى نوقشت فى الفصل 13، لكنها تشمل مستق بلات ومؤثرات حشوية واستجابات أبطأ. يعتبر بعض الخبراء أن المسا رات الحسية الحشوية جزء من الجهاز العصبى الذاتى، لكن الأغلبية ت فضل حصر مصطلح الجهاز العصبى الذاتى فى المسارات الصادرة)ا لحركية(. بغض النظر عن هذا التفضيل، فإن النشاط الذاتى يشمل قو س منعكس حشوى يتضمن)1(المستقبلات)نهايات عصبية تكتش ف التمدد، تلف الأنسجة، كيمياء الدم، الجسم

[1] *auto* = ذاتى؛ *nom*= حكم)ذاتى الحكم(

[2] *viscero* = الأعضاء الداخلية

مراجعة

- وظيفة الجهاز العصبى الذاتى تعتمد بشكل كبير على مفاهيم ال تغذية الراجعة السلبية والتوازن الداخلى)انظر القسم 1.6ح(.
- يوفر الشكل 12.2 منظورًا مفيدًا حول كيفية دمج الجهاز الع صبى الذاتى)ANS(فى نظام الجهاز العصبى ككل.
- من المهم أن تفهم بوضوح الناقلات العصبية والمستقبلات ولماذا يم كن للناقلات العصبية أن يكون لها تأثيرات منشطة أو مثبطة على خلايا الهدف المختلفة)انظر الأقسام 12.5ح، 12.5د(.
- يتم تنفيذ العديد من تأثيرات الجهاز العصبى الذاتى بواسطة العضلات ال ملساء. سيساعد التعصيب العضلى الملساء فى فهم التأثيرات المو ضحة فى هذا الفصل)انظر القسم 11.7ب(.
- يجب أن تكون على دراية بتشريح ووظائف تحت المهاد، وهو مركز تكاملى ذاتى مهم للغاية)انظر القسم 14.4أ(.
- تنتقل الإشارات الذاتية إلى أعضائها المستهدفة عبر الأعصاب الشوكية الموضحة فى القسم 13.2ب والأعصاب القحفية III، VII، IX، وX، المفصلة فى القسم 14.6ح.

نحن ندرك بوعى العديد من أنشطة جهازنا العصبى التى نوقشت فى الفصول السابقة—الحواس العامة والخاصة، عمليات التفكير لد ينا ومشاعرنا، وحركاتنا الإرادية. لكن هناك فرعًا آخر من الجهاز العصبى يعم ل بسرية نسبية، عادةً دون إرادتنا، أو تفكيرنا فيه، أو حتى قدرتنا على تعديله أو كبحه بوعى.

يُسمى هذا العامل السرى الجهاز العصبى الذاتى)ANS(. اسمه يعنى "الحكم الذاتى"، لأنه مستقل تقريبًا تمامًا عن إرادتنا. وظيفته تنظيم حالات أساسية وعملية حياتية مثل معدل ضربات القلب، ضغط الدم، درجة حرارة الجسم، تدفق التنفس، قطر الحدقة، الهضم، الأيض الطاقى، التبرز، التبول، والوظائف الجنسية. باختصار، يدير الجهاز العصبى الذاتى بهدوء العديد من العمليات اللاإرادية المسؤولة عن التوازن الداخلى للجسم.

والتر كانون)1871–1945(، عالم الفسيولوجيا الأمريكى الذى صاغ تع بيرات مثل التوازن الداخلى و رد الفعل القتال أو الهروب، كرس حياته لدر اسة الجهاز العصبى الذاتى. وجد أن الحيوان يمكن أن يعيش بدون جهاز ع صبى ودّى وظيفى)وهو أحد قسمَى الجهاز العصبى الذاتى(، لكنه يجب أن يُحفظ دافئًا وخاليًا من التوتر. لا يستطيع تنظيم درجة حرارة جسمه، أو تحم ل أى مجهود شاق، أو البقاء على قيد الحياة بمفرده. بالفعل، الجهاز العص بى الذاتى أكثر أهمية للبقاء على قيد الحياة من العديد من وظائف الجهاز ا لعصبى الجسدى؛ فغياب الوظيفة الذاتية مميت لأن الجسم لا يستطيع الح فاظ على التوازن الداخلى بدونه. لذلك، لفهم وظائف الجسم، وطريقة عمل ا لعديد من الأدوية، وجوانب أخرى من الرعاية الصحية، يجب أن نكون على و عى خاص بكيفية عمل الجهاز العصبى الذاتى.

15.1ب تقسيمات الجهاز العصبى الذاتى

يحتوى الجهاز العصبى الذاتى على ثلاثة أنظمة فرعية: القسم الودى والقسم اللاودى وضفيرة الأمعاء)انظر الشكل 12.2(. تختلف هذه الأنظمة فى التشريح والوظيفة، لكنها غالبًا ما تعصب نفس الأعضاء المستهدفة وقد يكون لها تأثيرات تعاونية أو متناقضة عليها.

القسم الودى يكيف الجسم بطرق عديدة للنشاط البدنى — يزيد من اليقظة، معدل ضربات القلب، ضغط الدم، تدفق الهواء الرئوى، مستوى الجلوكوز فى الدم، وتدفق الدم إلى القلب والعضلات الهيكلية، لكنه فى الوقت نفسه يقلل من تدفق الدم إلى الجلد والجهاز الهضمى . أشار كانون إلى الاستجابات الودية الشديدة باسم رد *فعل القتال أو الهروب* لأنه يظهر عندما يجب على الحيوان الهجوم، الدفاع عن نفسه، أو الهروب من الخطر. فى حياتنا، يحدث هذا الرد فى مواقف تتضمن الإثارة، التمرين، المنافسة، التوتر، الخطر، الصدمة، الغضب، أو الخوف. ومع ذلك، عادةً ما يكون للقسم الودى تأثيرات أكثر دقة لا نلاحظها بالكاد، إن وُجدت.

القسم اللاودى بالمقارنة، له تأثير مهدئ على العديد من وظائف الجسم. يرتبط بانخفاض استهلاك الطاقة والصيانة الطبيعية للجسم، بما فى ذلك وظائف مثل الهضم والتخلص من الفضلات. يُطلق على هذا غالبًا حالة الراحة والهضم.

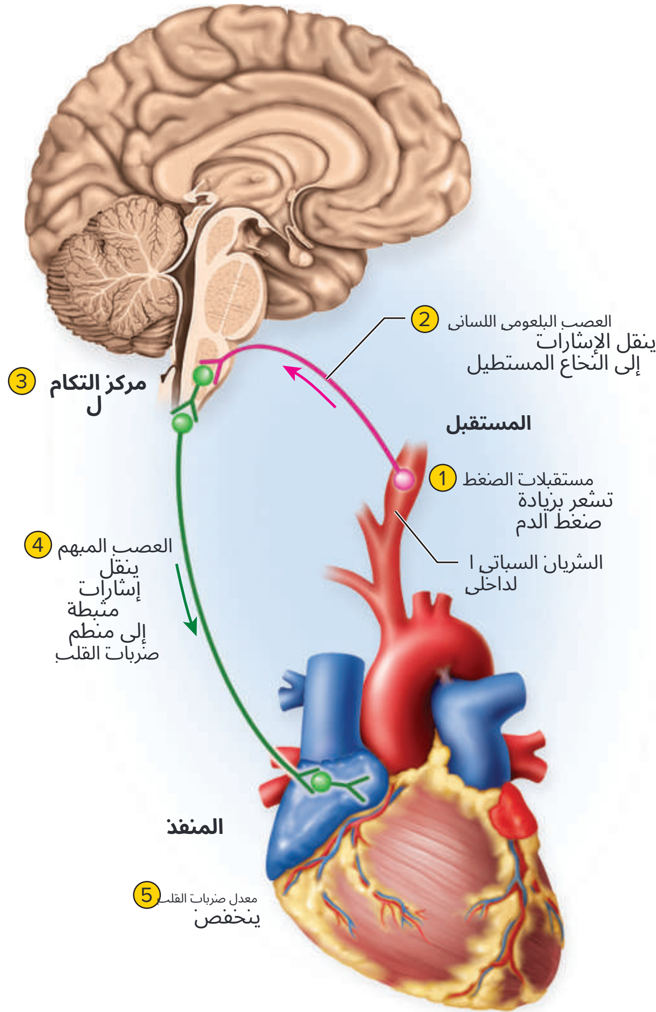
هذا لا يعنى أن الجسم يتناوب بين حالات يكون فيها نظام واحد أو الآخر نشطًا. عادةً، يكون كلا النظامين نشطين فى نفس الوقت. يطهران معدل نشاط خلفى يُسمى النغمة الذاتية، ويتغير التوازن بين *النغمة الودية* و *النغمة اللاودية* وفقًا لاحتياجات الجسم المتغيرة. على سبيل المثال، تحافظ النغمة اللاودية على توتر العضلات الملساء فى الأمعاء وتبقى معدل ضربات القلب فى حالة الراحة حوالى 70 إلى 80 نبضة فى الدقيقة. تحافظ النغمة الودية على معظم الأوعية الدموية فى حالة انقباض جزئى وبالتالى تحافظ على ضغط الدم. فقدان النغمة الودية يمكن أن يسبب انخفاضًا سريعًا فى ضغط الدم بحيث يدخل الشخص فى حالة صدمة وقد يفقد الوعى.

الضفيرة المعوية هى شبكة معقدة من الخلايا العصبية الذاتية فى جدار الجهاز الهضمى. تستخدم مسارات عصبية وناقلات عصبية تختلف كثيرًا عن الأقسام الودية والباراسمبثاوية. سنستكشفها لاحقًا فى هذا الفصل والفصل 25، لكن معظم هذا الفصل يتعلق بالأقسام الودية والباراسمبثاوية.

15.1ح مسارات المخرجات الذاتية

على الرغم من تعريفها عادةً كجزء فقط من الجهاز العصبى المحيطى، فإن الجهاز العصبى الذاتى يحتوى على مكونات فى كل من الجهاز العصبى المركزى والجهاز العصبى المحيطى. يشمل ذلك نوى التحكم فى الوطاء ومناطق أخرى من جذع الدماغ، والخلايا العصبية الحركية فى الحبل الشوكى والعقد الطرفية، والألياف العصبية التى تمر عبر الأعصاب القحفية والعمودية التى درستها سابقًا.

مسار العصب الحركى الذاتى إلى العضو المستهدف يختلف بشكل كبير عن مسارات العصب الحركى الجسدى)الشكل 15.2؛ الجدول 15.1(. فى المسارات الجسدية، تصدر خلية عصبية حركية فى جذع الدماغ أو الحبل الشوكى ليفًا مغطى بالميلين)محور عصبى(يصل مباشرة إلى عضلة هيكلية. فى المسارات الذاتية، تنتقل الإشارة عبر خليتين عصبيتين للوصول إلى العضو المستهدف، ويجب أن تعبر مشبكًا حيث تلتقى هاتان الخليتان العصبيتان فى عقدة ذاتية. يُسمى محور العصب للخلية العصبية الأولى فى المسار الليف قبل العقدى.

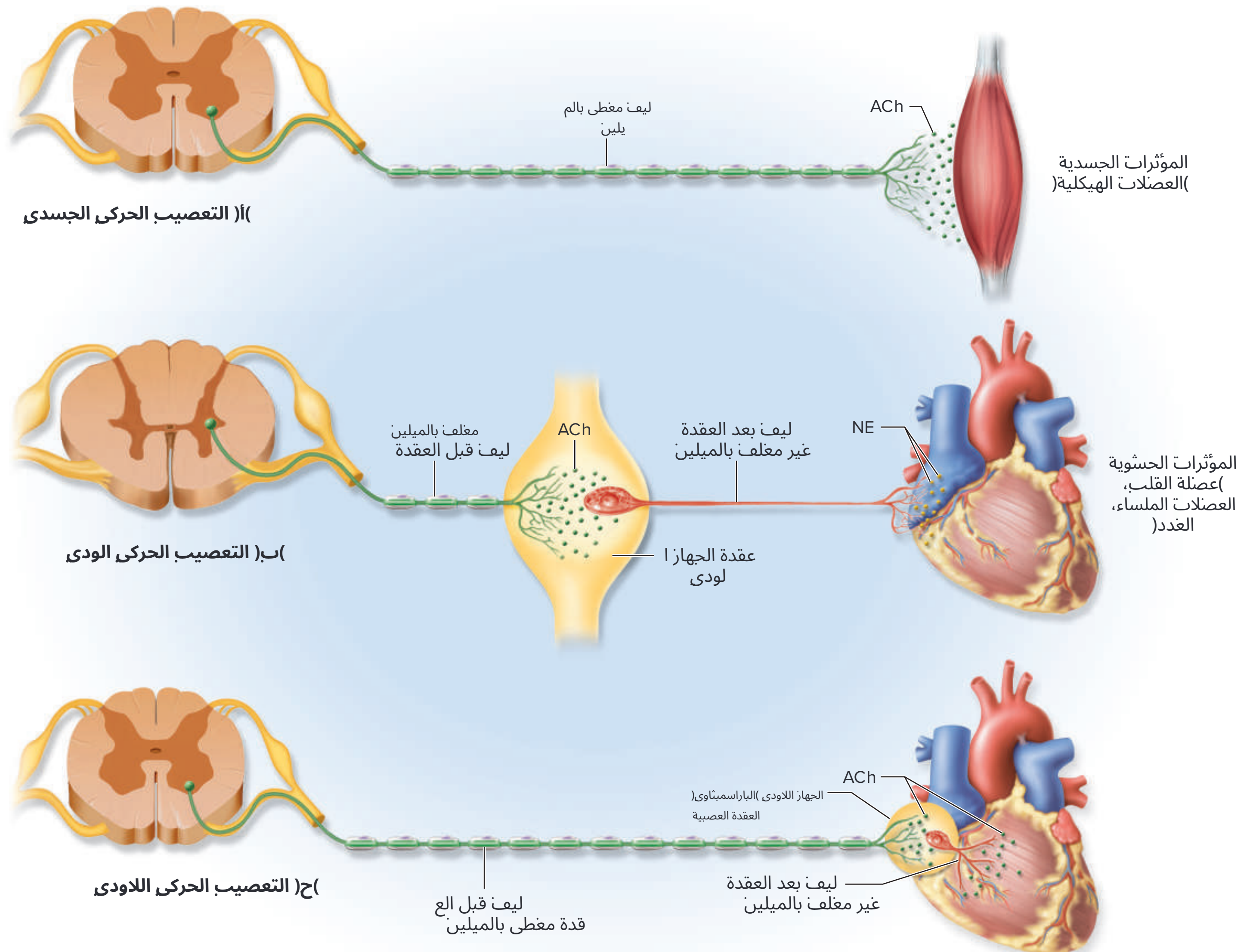


الشكل 15.1 مسار الانعكاس الذاتى.ينتج هذا المسار انعكاس الضغط الشريانى، الذى يعوض تقلبات ضغط الدم فى الشرايين فوق القلب.

درجة الحرارة، وغيرها من المحفزات الداخلية(،)2(الخلايا العصبية الواردة التى تؤدى إلى)3(مركز تكاملى و الخلايا العصبية البينية فى الجهاز العصبى المركزى، الخلايا العصبية الصادرة التى تحمل الإشارات الحركية بعيدًا عن الجهاز العصبى المركزى، (4) وأخيرًا)5(المؤثر الذى ينفذ الاستجابة النهائية.

على سبيل المثال، ارتفاع ضغط الدم ينشط *المنعكس الحشوى الباروري*.[3] يحفز مستقبلات التمدد المسماة *مستقبلات الضغط* فى الشرايين السباتية الداخلية وترسل إشارات عبر الأعصاب اللسانية البلعومية إلى جذع الدماغ)الشكل 15.1(. يقوم النخاع بتكامل هذه المعلومات مع معلومات أخرى ويرسل إشارات مرة أخرى إلى القلب عبر الأعصاب المبهمة. تعمل الأعصاب المبهمة على إبطاء القلب وتقليل ضغط الدم، مما يكمل حلقة تغذية راجعة سلبية للحفاظ على التوازن الداخلى. هناك منعكس ذاتى منفصل يسرع القلب عندما ينخفض ضغط الدم عن المستوى الطبيعى — على سبيل المثال، عندما ننتقل من وضع الاستلقاء إلى الوقوف وتسحب الجاذبية الدم بعيدًا عن الجزء العلوى من الجسم)انظر الشكل 1.8(.

[3] *بارو* = الضغط



الشكل 15.2 مقارنة بين المسارات الصادرة الجسدية والذاتية.)أ(فى الجهاز العصبى الجسدى، يمتد كل ليف عصبى حركى من الجهاز العصبى المركزى إلى ع صلة هيكلية.)ب(فى الجهاز العصبى الودى، يمتد ليف قبل العقدة قصير من الحبل الشوكى إلى عقدة ودية عادةً بالقرب من العمود الفقرى. ثم يمتد ليف بعد العقدة أطول من هناك إلى العضو المستهدف.)ح(فى الجهاز العصبى اللاودى، يمتد ليف قبل العقدة طويل من الجهاز العصبى المركزى إلى عقدة داخل ا لعضو المستهدف أو بالقرب منه، ويكمل ليف بعد العقدة القصير المسار إلى خلايا المؤثرات المحددة فى ذلك العضو)العضلات الملساء أو القلبية أو الغدد(.)A Ch = أسيتيل كولين؛ NE = نورإبينفرين(

النسيج وتحفز العديد من الخلايا المستهدفة فى آن واحد)انظر القسم 11.7ب والشكل 11.21(. يوضح الشكل 15.2 الفروقات الرئيسية بين المسارات الجسدية والذاتية وبين القسمين الودى واللاودى.

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

1. كيف يختلف الجهاز العصبى الذاتى وظيفيًا وتشريحيًا عن الجهاز الحر كى الجسدى؟
2. كيف تختلف التأثيرات العامة للقسم الودى عن تلك الخاصة بالقسم ا للاودى؟

يبدأ بجسم خلية فى جذع الدماغ أو الحبل الشوكى. يمتد محوره العص بى من هناك إلى عقدة ذاتية تقع فى مكان ما خارج الجهاز العصبى الم ركزى — غالبًا فى سلسلة بالقرب من العمود الفقرى أو تقع فى أو بال قرب من العضو المستهدف. هنا، يتشابك مع العصبون الثانى ويُفرز ا لناقل العصبى أستيل كولين)ACh(. يمتد المحور العصبى من العص بون الثانى، المسمى الألياف بعد العقدية، خارج العقدة ويمتد بقية ال طريق إلى العضو أو الخلايا المستهدفة. اعتمادًا على نوع الألياف، يفرز إما ACh أو نورإبينفرين)NE(. الألياف قبل العقدية الذاتية مغطاة بغم د الميالين بشكل خفيف، بينما الألياف بعد العقدية غير مغطاة بالميا لين. على عكس نهايات الأعصاب الحركية الجسدية، لا تنتهى الألياف بعد العقدية الذاتية فى تشابكات عصبية فردية مع خلايا العضلات، بل فى سلاسل من التورمات الشبيهة بالخرز التى تُفرز الناقل العصبى بشكل منتشر فى

الجدول 15.1	**مقارنة بين الجهاز العصبى الجسدى والجهاز العصبى الذاتى**	
ميزة	**جسدى**	الجهاز العصبى الذاتى
المؤثرات	العضلات الهيكلية	الغدد، العضلات الملساء، عضلة القلب
التحكم	عادةً طوعى	عادةً لا إرادى
النهايات العصبية البعيدة	وصلات العصب العضلى	عادةً انتفاخات
المسارات الصادرة	ليف عصبى واحد من الجهاز العصبى المركزى إلى المؤثر؛ لا توجد عقد عصبية	ليفان عصبيان من الجهاز العصبى المركزى إلى المؤثر؛ تشابك عصبى فى عقدة عصبية
الناقلات العصبية	أسيتيل كولين)ACh(	أسيتيل كولين)ACh(والنورإبينفرين)NE(
التأثير على الخلايا المستهدفة	دائمًا مثير	مثير أو مثبط
تأثير إزالة التعصيب	شلل واهن	فرط الحساسية الناتجة عن إزالة التعصيب

15.2 تشريح الجهاز العصبى الذاتى

نتائج التعلم المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. تحديد المكونات التشريحية ومسارات الأعصاب للقسمين الودى واللاودى؛

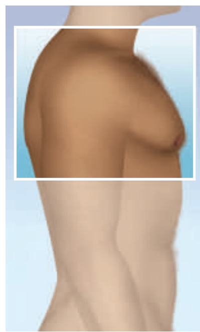
ب. ناقش العلاقة بين الغدد الكظرية والجهاز العصبى الودى؛ و

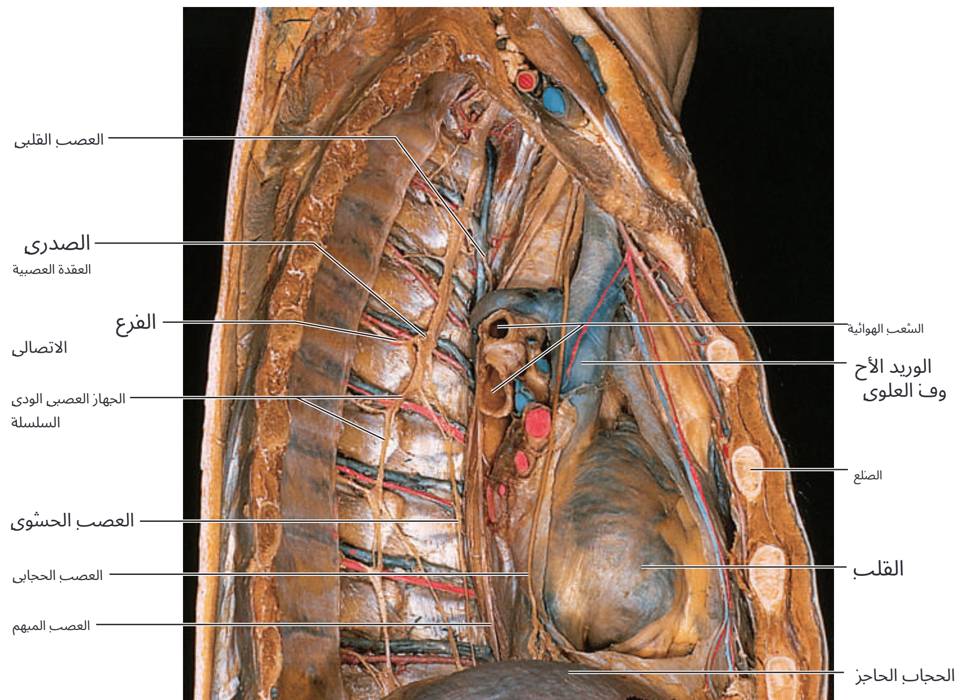
ج. وصف الضفيرة المعوية فى الجهاز الهضمى وشرح أهميتها.

15.2أ القسم الودى

تبدأ جميع مسارات القسم الودى فى مناطق الصدر والقطنى من الحبل الشوكى؛ لذلك يُطلق على هذا النظام أيضًا اسم القسم الصدرى القطنى. تقع أجسام خلايا العصبونات قبل العقدة فى القرون الجانبية والمادة الرمادية المجاورة للحبل الشوكى. تخرج محاورها العصبية من الحبل عبر الأعصاب الشوكية من T1 إلى L2 وتتجه إلى سلسلة العقد الودية القريبة)العقد المجاورة للفقرات(. وبالتالى، يمتلك القسم الودى محاور عصبية قبل عقدية قصيرة نسبيًا. سلسلة العقد الودية هى سلسلة طولية من العقد تقع بجانب جانبى العمود الفقرى من المستوى العنقى إلى مستوى العصعص. وهى متصلة بواسطة حبال عصبية طولية)الشكلين 15.3، 15.4؛

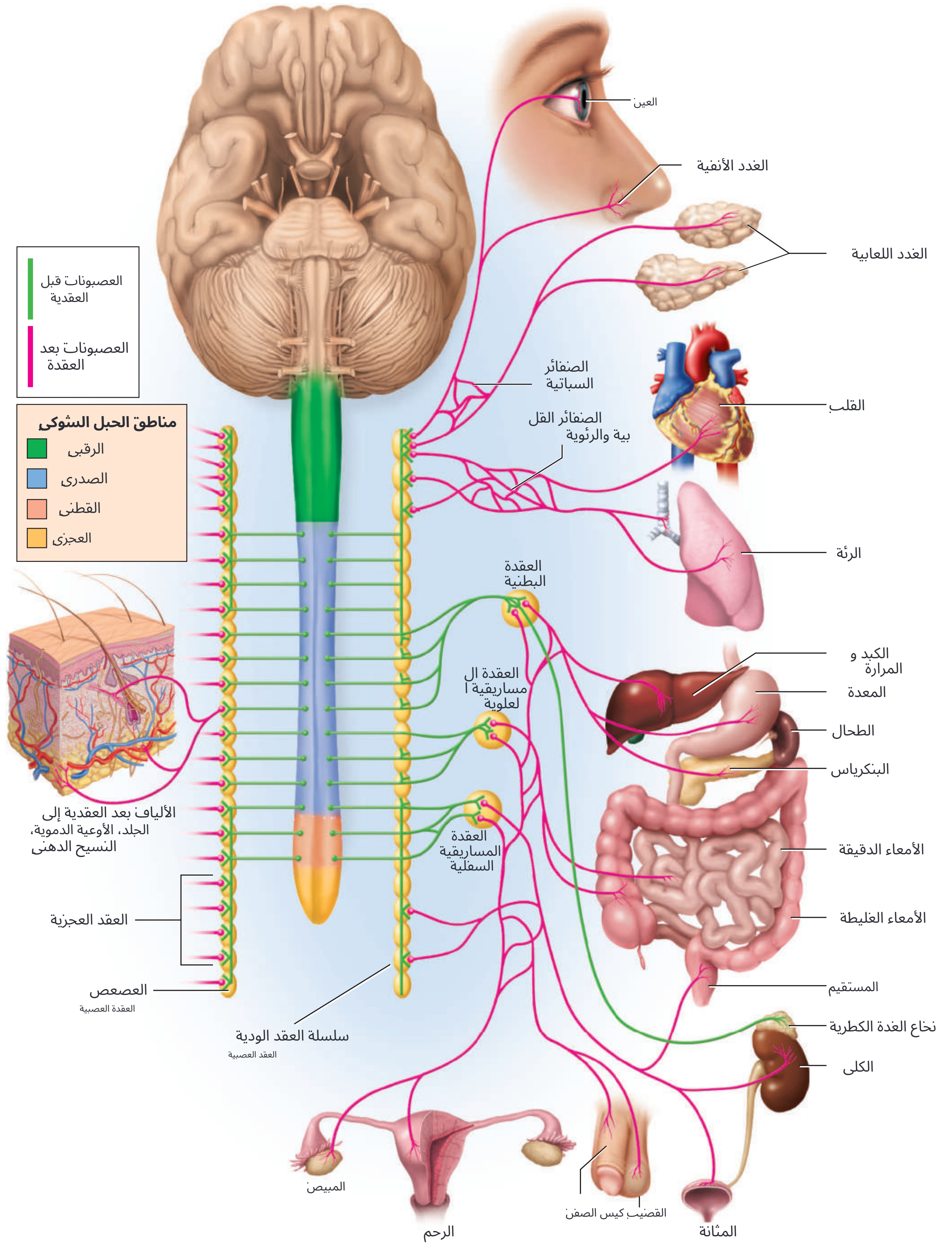
para[4] = بجانب؛ vertebr = العمود الفقرى



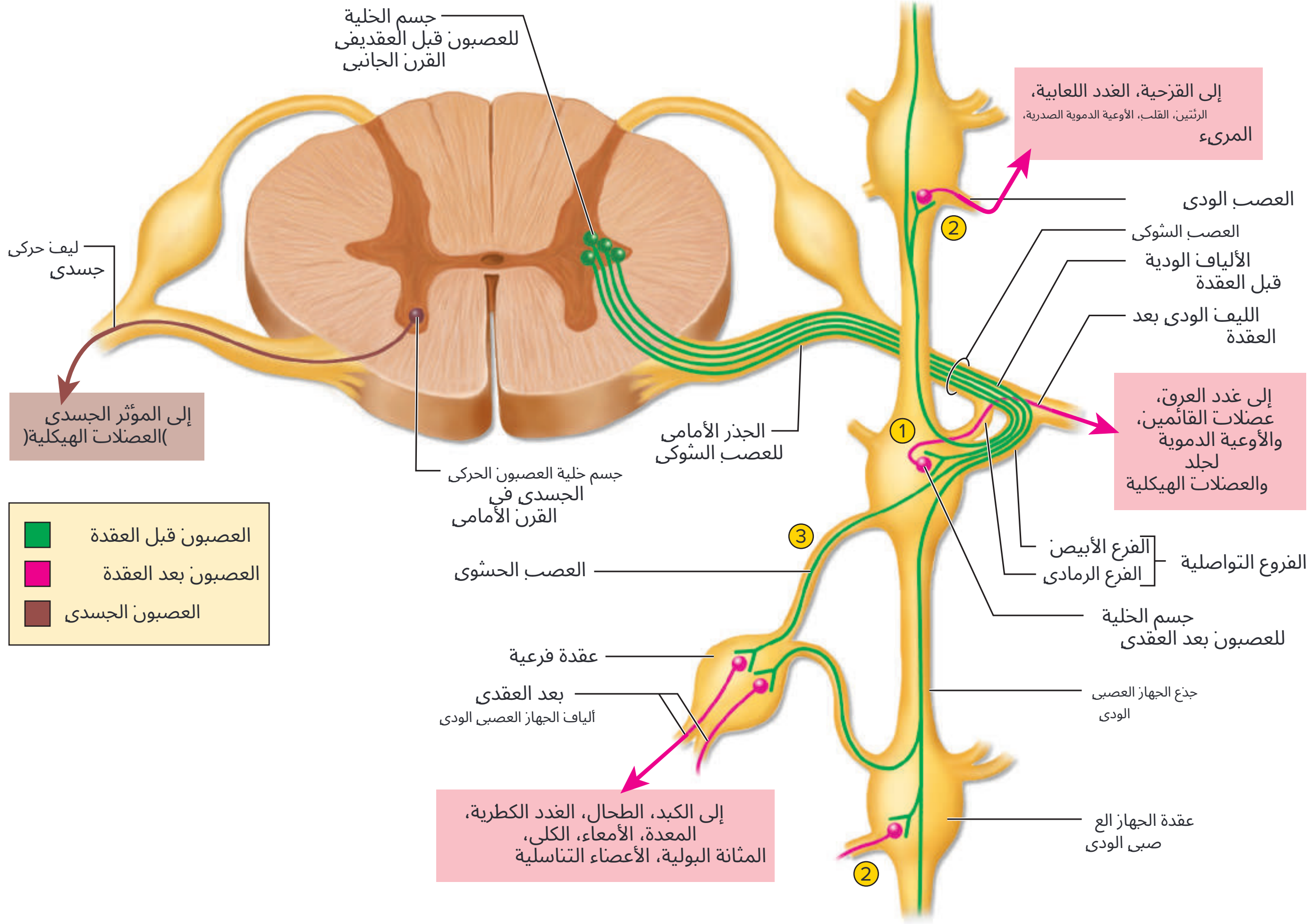


الشكل 15.3 سلسلة العقد الودية.الرؤية الجانبية اليمنى لتجويف الصدر لجثة.)n. = عصب(

APR



APR الشكل 15.4 مخطط للجهاز العصبى الودى.
هل يجعل التعصيب الودى للرئتين الشخص يستنشق ويزفر؟ اشرح.



الشكل 15.5 المسارات العصبية عبر عقد السلسلة الودية. يمكن للألياف الودية أن تتبع أيًا من الطرق الثلاث المرقمة:)1(مسار العصب الشوكى،)2(مسار العصب الودى، أو)3(مسار العصب الحشوى. يُظهر المسار الصادر الجسدى على اليسار للمقارنة.

سمِّ أجزاء الحبل الشوكى حيث تقع أجسام الخلايا للعصبونات الصادرة الودية والجسدية.

رامى)الشكل 15.5(. تحتوى الخلايا العصبية قبل العقدة على أجسام خلوية فى القرن الجانبى للحبل الشوكى. تمر محاورها العصبية، التى تنتمى إلى فئة الألياف العصبية الصغيرة الميالينية، عبر الجذر البطنى، وتسير مسافة قصيرة فى العصب الشوكى، ثم تترك العصب وتسير إلى العقدة الودية عبر الفرع الأبيض الموصل. يُسمى هذا الفرع باللو[5]ن الذى يمنحه الميالين.
تغادر الألياف بعد العقدة غير الميالينية العقدة عبر الفرع الرمادى المو صل، الذى سُمى بذلك بسبب نقص الميالين ولونه الباهت، وعبر م سارات أخرى. يعود هذا الفرع إلى العصب الشوكى. تمتد الألياف بعد ا لعقدة، التى تكون أطول من الألياف قبل العقدة، بقية الطريق إلى الع ضو المستهدف.

▶▶▶ طبق ما تعرفه

هل ستكون سرعة توصيل الألياف بعد العقدة الذاتية أسرع أم أبط أ من ألياف العصب الحركى الجسدى؟
لماذا؟)انظر التلميحات فى القسم 12.3د.(

انظر أيضًا الشكل 13.14 لعلاقة هذه السلسلة بالأعصاب الشوكية وال فقرات(. يختلف عدد العقد فى هذه السلسلة من شخص لآخر، ولكن عادةً ما تكون هناك 3 عقد عنقية *)عليا، الوسطى، و السفلى(،* 11 صدريًا، 4 قطنيًا، 4 عصعصًا، و1 عُقدة الع صعص فى كل سلسلة.
قد يبدو غريبًا وجود العقد الودية فى مناطق العنق والعجز والع صعص بالنظر إلى أن الخلايا العصبية الودية تنشأ فقط فى مناطق ال صدر والقطنى من الحبل الشوكى)المستويات T1 إلى L2(. ولكن كما هو موضح فى الشكل 15.4، تصعد الحبال العصبية من المنطقة ال صدرية إلى العقد فى الرقبة، وتنزل الحبال من المنطقة القطنية إلى ا لعقد العجزية والعصعصية. ونتيجة لذلك، يتم توزيع الألياف العصبية ا لودية على كل مستوى من مستويات الجسم. كقاعدة عامة، يستقبل ا لرأس الإخراج الودى الناشئ من مقطع الحبل الشوكى T1، والرقبة من T2، والصدر والأطراف العلوية من T3 إلى T6، والبطن من T7 إلى T11، والأطراف السفلية من T12 إلى L2. ومع ذلك، هناك تداخل كبير وتفاوت فردى فى هذا النمط.

فى منطقة الصدر والقطنى، يرتبط كل عقدة مجاورة للعمود الفقرى بعصب شوكى بواسطة فرعين يُطلق عليهما *التواصلية*

[5] *ramus* فرع

التعصيب إلى ومن العقد الجانبية		**الجدول 15.2**
الأعضاء المستهدفة بعد العقدة →	**العقد الجانبية** →	**العقد الودية** →
المعدة، الطحال، الكبد، البنكرياس، الأمعاء الدقيقة، والكلى →	العقدة المعوية →	العقد الصدرية 5 إلى 9 أو 10 →
الأمعاء الدقيقة، القولون، والكلى →	العقد البطنية والعقد المساريقية العلوية →	العقد الصدرية من 9 إلى 12 →
المستقيم، المثانة البولية، والأعضاء التناسلية →	العقدة المساريقية السفلية →	العقد القطنية →

هناك ثلاث عقد جانبية رئيسية فى هذه الصفيرة— العقدة البطنية، العقدة المساريقية العلوية، و العقدة المساريقية السفلية—تقع عند نقاط تفرع الشرايين التى تحمل نفس الأسماء من الأبهر. ترافق الألياف بعد العقدة هذه الشرايين وفروعها إلى الأعضاء المستهدفة. الجدول 15.2 يلخص التعصيب إلى ومن العقد الجانبية الثلاث الرئيسية.

يستخدم بعض الخبراء مصطلح *الضفيرة الشمسية* كاسم جماعى للعقدة البطنية والعقدة المساريقية العلوية، ويستخدمه آخرون كمرادف للعقدة البطنية فقط. يأتى المصطلح من الأعصاب التى تشع من العقدة مثل أشعة الشمس.

باختصار، يتم تعصيب المؤثرات فى العضلات وجدار الجسم بشكل رئيسى بواسطة الألياف الودية فى الأعصاب الشوكية، والمؤثرات فى الرأس وتجويف الصدر بواسطة الأعصاب الودية، والمؤثرات فى تجويف البطن والحوض بواسطة الأعصاب الحشوية.

لا توجد علاقة بسيطة واحد لواحد بين الخلايا العصبية قبل العقدة وبعد العقدة فى القسم الودى.

من ناحية، قد يستقبل كل عصبون بعد العقدة)بعد العقدى(تشابكات عصبية من عدة عصبونات قبل العقدة)قبل العقدى(، مما يُظهر مبدأ *التقارب العصبى*. علاوة على ذلك، يتفرع كل عصبون قبل العقدة إلى عدة عصبونات بعد العقدة، مما يُظهر التباعد العصبى.)انظر القسم 12.6د لمراجعة الدوائر المتباعدة والمتقاربة.(معظم العصبونات قبل العقدة الودية تتشابك مع 10 إلى 20 عصبونًا بعد العقدة. لذلك، عندما ينشط عصبون قبل العقدة واحد، يمكنه إثارة عدة عصبونات بعد العقدة تؤدى إلى أعضاء مستهدفة مختلفة. وبالتالى، يميل القسم الودى إلى أن يكون له تأثيرات واسعة النطاق نسبيًا — كما يوحى الاسم *الودى*.[7]

15.2ب الغدد الكظرية

تستقر الغدد الكظرية[8])فوق الكلوية(المزدوجة مثل القبعات على الأقطاب العلوية للكليتين)الشكل 15.6(. كل غدة كظرية هى فى الواقع غدتان بوظائف وأصول جنينية مختلفة. القشرة الخارجية، قشرة الكظر، تفرز هرمونات ستيرويدية نوقشت فى الفصل 17. اللب الداخلى، لب الكظر، هو فى الأساس عقدة ودية. يتكون من عصبونات بعد العقدة معدلة بدون تفرعات شجرية أو محاور عصبية. تخترق الألياف قبل العقدة الودية القشرة وتنتهى على هذه الخلايا.

الجهاز العصبى الودى ولب الكظر مرتبطان ارتباطًا وثيقًا فى التطور والوظيفة لدرجة أنهما يُشار إليهما معًا باسم *الجهاز الودى الكظرى*.

[7] *sym* = معًا؛ *path* = الإحساس

[8] *ad* = قرب؛ *ren* = الكلية

بعد دخولها السلسلة الودية، قد تتبع الألياف قبل العقدية أى من المسارات الثلاثة التالية:

- ينتهى بعضها فى العقدة التى تدخلها ويتشابك فورًا مع عصبون بعد العقدة.
- يسير بعضها صعودًا أو هبوطًا فى السلسلة ويتشابك فى العقد عند مستويات أخرى. هذه الألياف هى التى تربط العقد المجاورة للعمود الفقرى فى سلسلة. وهى الطريق الوحيد الذى تستقبل من خلاله العقد فى المستويات العنقية والعجزية والعصعصية المدخلات.
- يمر بعضها عبر السلسلة دون تشابك ويستمر كأعصاب *الحشوية* ، والتى سيتم تناولها قريبًا.

تخرج الألياف العصبية من السلسلة الودية عبر ثلاثة مسارات. تم ترقيم هذه فى الشكل 15.5 لتتوافق مع الأوصاف التالية:

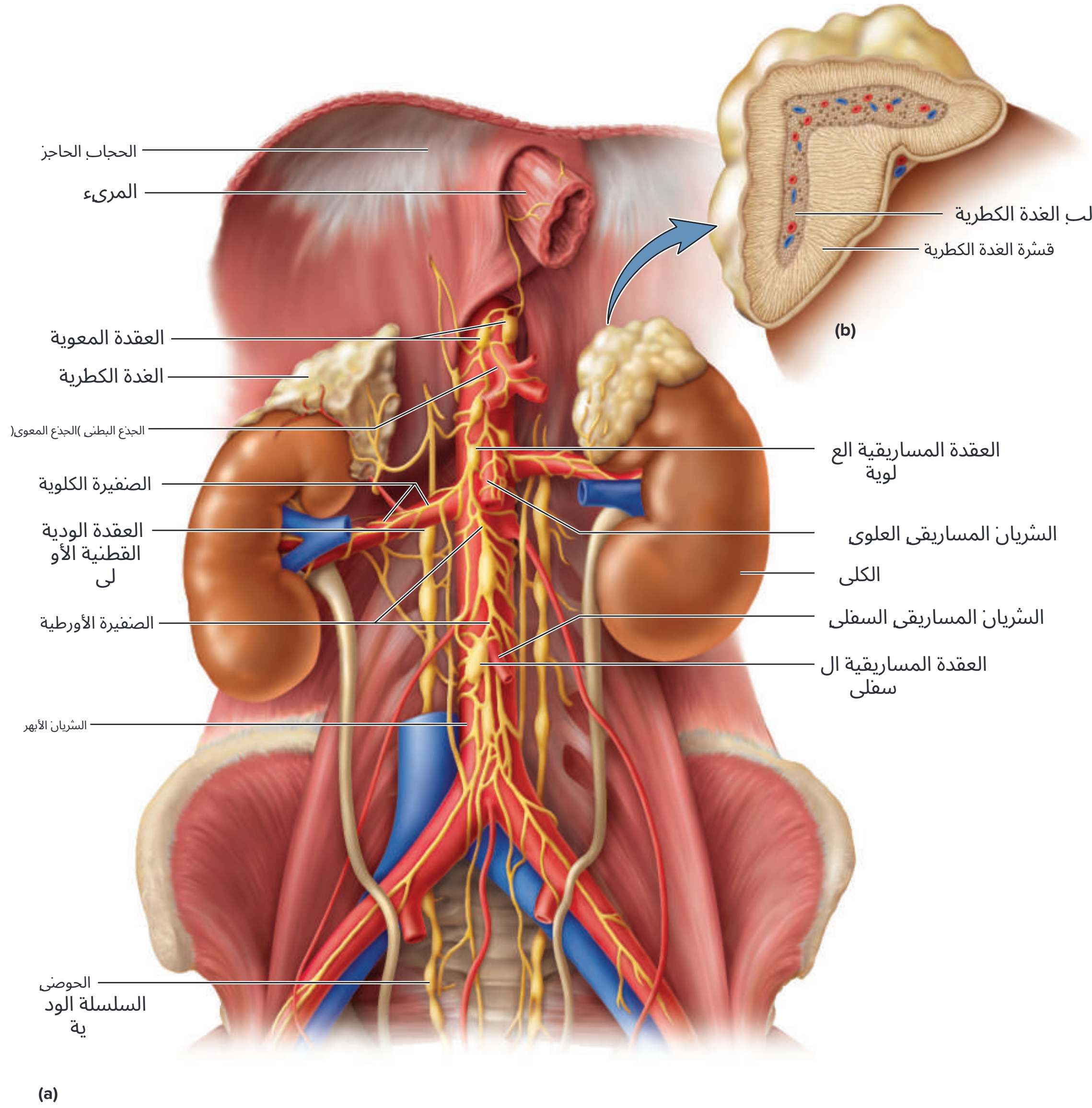
1. مسار العصب الشوكى. تخرج بعض الألياف بعد العقدة عبر الفرع الرمادى، وتعود إلى العصب الشوكى أو فروعه، وتسير بقية الطريق إلى العضو المستهدف. هذا هو المسار لمعظم الغدد العرقية، وعضلات القائم، والأوعية الدموية فى الجلد والعضلات الهيكلية.

2. مسار العصب الودى. تخرج ألياف ما بعد العقدة الأخرى عن طريق الأعصاب الودية التى تمتد إلى القلب، الرئتين، المرىء، والأوعية الدموية الصدرية. تشكل هذه الأعصاب *ضفيرة السباتية* حول كل شريان سباتى فى الرقبة وتصدر أليافًا من هناك إلى المؤثرات فى الرأس—بما فى ذلك الغدد العرقية، اللعابية، والأنفية؛ عضلات القائم؛ الأوعية الدموية؛ وموسعات القزحية. بعض الألياف من العقد العنقية العلوية والوسطى تشكل *الأعصاب القلبية* إلى القلب)التى تحتوى أيضًا على ألياف نظيرة الودية(.

3. مسار العصب الحشوى.[6] بعض الألياف التى تنشأ من الأعصاب الشوكية T5 إلى T12 تمر عبر العقد الودية دون تشابك. بعد العقد، تسير فى الأعصاب الحشوية)SPLANK-nic(، التى تؤدى إلى مجموعة ثانية من العقد تسمى العقد الجانبية. هنا تتشابك الألياف قبل العقدة مع الخلايا العصبية بعد العقدة.

تساهم العقد الجانبية فى شبكة تسمى ضفيرة الأبهر البطنية ملفوفة حول الأبهر)الشكل 15.6(.

[6] حشوى = الأحشاء



الشكل 15.6 مكونات البطن والحوض للجهاز الودى الكظرى.)أ(العقد الجانبية، الضفيرة الأبهرية البطنية، والغدد الكظرية.)ب(الغدة الكظرية، مقطع أمامى . تلعب فقط النخاع الكظرى دورًا فى الجهاز العصبى الودى؛ أما قشرة الغدة الكظرية فلها أدوار غير مرتبطة موصوفة فى الفصل 17.

العقدة العصبية مدمجة فى جدار العضو المستهدف، وتسمى أيضًا ع قدة *داخل الجدار*[9]. (وهكذا، يحتوى القسم اللاودى على ألياف قبل ا لعقدة طويلة، تصل تقريبًا إلى جميع الخلايا المستهدفة، وألياف بعد ا لعقدة قصيرة تغطى بقية المسافة.

هناك بعض التفرع العصبى فى القسم اللاودى، لكنه أقل بكثير م نه فى القسم الودى. يحتوى القسم اللاودى على نسبة أقل من خمسة عصبونات بعد العقدة لكل عصبون قبل العقدة. علاوة على ذلك، تصل الألياف قبل العقدة إلى الأعضاء المستهدفة قبل حدوث هذا التفرع ا لطفيف.

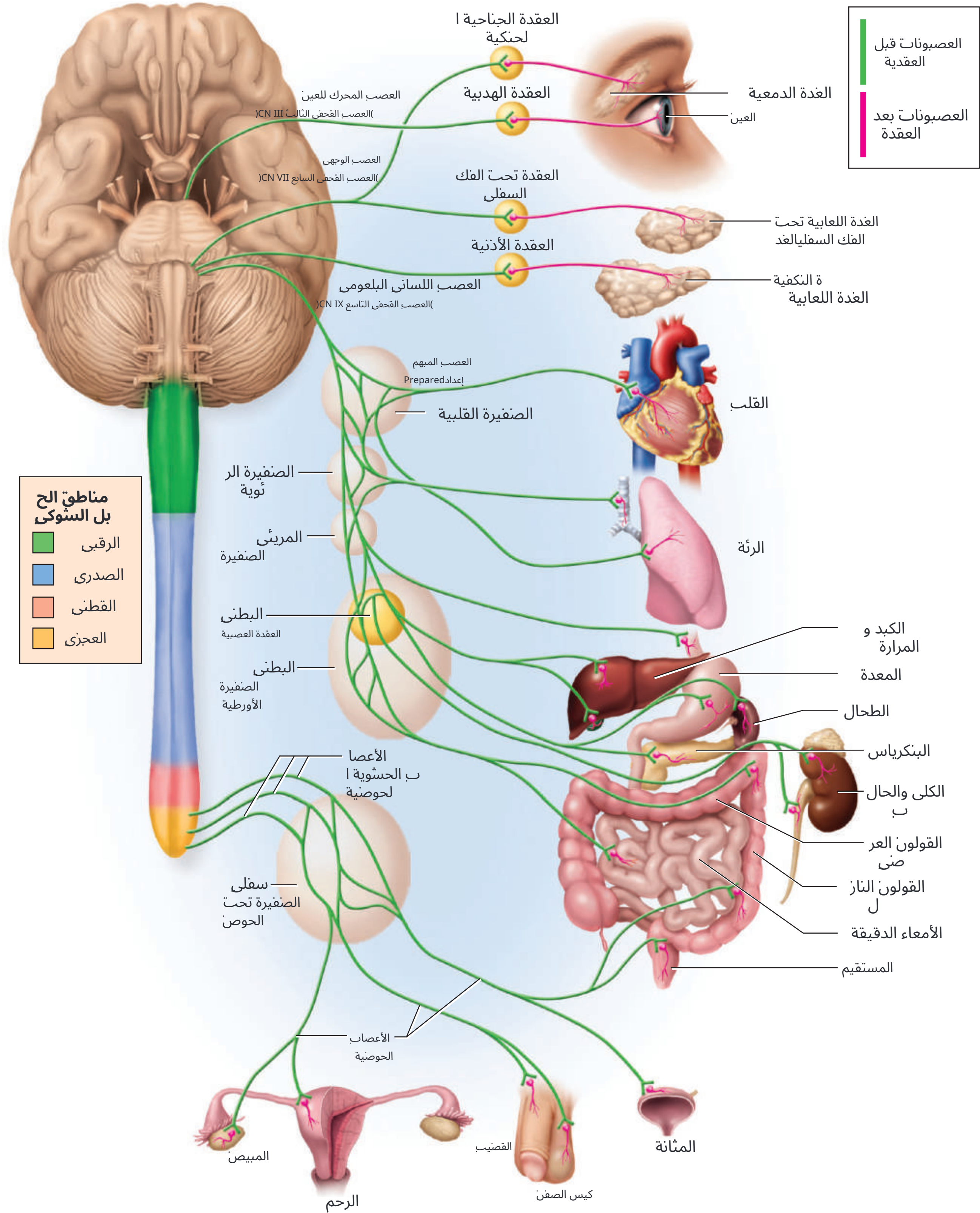
لذلك، يكون القسم اللاودى انتقائيًا نسبيًا فى تحفيزه للأعضاء المستهدفة.

[9] *intra* = داخل؛ *mur* = جدار

عند التحفيز، تفرز لب الغدة الكظرية مزيجًا من الهرمونات فى مج رى الدم—حوالى ٨٥٪ إبينفرين)الأدرينالين(، ١٥٪ نورإبينفرين)النورأدر ينالين(، وكمية ضئيلة من الدوبامين. تم النظر بإيجاز فى هذه الهرمونات، الكاتيكولامينات، فى الفصل 12 لأنها تعمل أيضًا كناقلات عصبية.

15.2ح القسم اللاودى

يُطلق على القسم اللاودى أيضًا اسم القسم القحفى العجزى لأن مسا رات الإشارة الخاصة به تبدأ فى الدماغ ومنطقة العجز فى الحبل الشو كى؛ حيث تسير فى بعض الأعصاب القحفية والعجزية. تقع أجسام خ لايا الخلايا العصبية قبل العقدة فى الميدبرين، الجسر، النخاع المستط يل، والمقاطع S2 إلى S4 من الحبل الشوكى)الشكل 15.7(. تصدر أ لياقًا قبل عقدية طويلة تنتهى فى العقد الطرفية فى أو بالقرب من ا لعضو المستهدف.)إذا كانت العقدة الطرفية



APR الشكل 15.7 مخطط للجهاز العصبى اللاودى)الباراسمبثاوى(.

أي عصب يحمل أكبر عدد من ألياف الجهاز العصبى اللاودى؟

فى الطرف السفلى للمرىء، تنشأ من هذه الضفائر جذوع م بهمة أمامية وخلفية، يحتوى كل منها على ألياف من العصب ا لمبهم الأيمن والأيسر. تخترق هذه الجذوع الحجاب الحاجز، وتد خل التجويف البطنى، وتساهم فى الضفيرة الأبهرية البطنية الوا سعة التى ذُكرت سابقًا. كما رأينا، تتشابك الألياف الودية هنا.

ومع ذلك، تمر الألياف اللاودية عبر الضفيرة دون تشابك. تتشا بك فى أماكن أبعد، فى العقد الطرفية داخل أو بالقرب من ال كبد، البنكرياس، المعدة، الأمعاء الدقيقة، الكلية، الحالب، والن صف القريب من القولون.

تنشأ الألياف اللاودية المتبقية من المستويات S2 إلى S4 من الح بل الشوكى السفلى. تسير مسافة قصيرة فى الفروع الأمامية للأعصا ب الشوكية ثم تشكل الأعصاب الحشوية الحوضية التى تؤدى إلى ال ضفيرة تحت الحوضية السفلية. تتشابك بعض الألياف اللاودية هنا، لكن معظمها يمر عبر هذه الضفيرة ويسير عبر الأعصاب الحوضية إلى العقد الطرفية فى أعضائها المستهدفة: النصف البعيد من القولون، ا لمستقيم، المثانة البولية، والأعضاء التناسلية. مع بعض الاستثناءات ا لقليلة، لا يعصب الجهاز اللاودى جدران الجسم)الغدد العرقية، عضلا ت النشوء، أو الأوعية الدموية الجلدية(.

يتم مقارنة القسمين الودى واللاودى من الجهاز العصبى الذاتى فى الجدول 15.3.

طبق ما تعرفه

هل ستتأثر الوظائف الذاتية إذا تضررت الجذور الأمامية للأعصا ب الشوكية العنقية؟ ولماذا أو لماذا لا؟

15.2د الصفيرة المعوية

للقناة الهضمية شبكة عصبية واسعة خاصة بها تسمى الصفيرة المعو ية [11])الجهاز العصبى المعوى( )انظر الشكل 12.2(. يعتبرها البعض ج زءًا من القسم اللاودى، لكنها تمتلك دائرة عصبية معقدة تختلف عن باقى الجهاز العصبى الذاتى، وتستخدم نواقل عصبية مختلفة. يبدو م ن الأفضل اعتبارها قسمًا ذاتيًا ثالثًا. تتكون من حوالى 500 مليون ع صبون من 20 فئة وظيفية — خمسة أضعاف عدد العصبونات فى ال حبل الشوكى! — ولها عقدها وأقواسها الانعكاسية الخاصة. على عك س باقى الجهاز العصبى الذاتى، لا تنشأ من جذع الدماغ أو الحبل الشو كى، لكنها مثل الباقى تعصب العضلات الملساء والغدد.

تغادر الألياف اللاودية جذع الدماغ عبر الأعصاب القحفية التالية) CNs(. توفر الأعصاب الثلاثة الأولى كل التعصيب ا للاودى للرأس، ويزود العصب الأخير الأحشاء فى تجاويف الصدر وال بطن والحوض.

1. العصب المحرك للعين)العصب القحفى الثالث( )انظر الشكل 14.29(. يحمل العصب المحرك للعين أليافًا لاودية تتحكم فى ا لعدسة والبؤبؤ للعين. تدخل الألياف قبل العقدة المدار وتنتهى فى *العقدة الهدبية* خلف كرة العين. تدخل الألياف بعد العقدة كرة العين وتعصب *العضلة الهدبية*، ا لتى تثخن العدسة، و *العضلة القابضة للبؤبؤ*، التى تضيق البؤ بؤ.

2. العصب الوجهى)العصب القحفى السابع( )انظر الشكل 14.3 3(. يحمل العصب الوجهى أليافًا لاودية تنظم غدد الدموع، والغد د اللعابية، والغدد الأنفية. بعد خروج العصب الوجهى من ا لجسر، تنفصل أليافه اللاودية وتشكل فرعين أصغر. ينتهى ال فرع العلوى عند *العقدة الجناحية الحنكية* بالقرب من تقاطع العظم الفكى والعظم الحنكى. ثم تستمر الألياف بعد العقدة إلى غدد الدموع وغدد تجويف الأنف والحنك ومناطق أخرى من تجو يف الفم. يعبر الفرع السفلى تجويف الأذن الوسطى وينتهى عند

العقدة تحت الفك السفلى بالقرب من زاوية الفك السفلى. تزود الألياف بعد العقدة هنا الغدد اللعابية فى أرضية الفم.

3. العصب البلعومى اللسانى)العصب القحفى التاسع( )انظر الشكل 14.35(. يحمل العصب البلعومى اللسانى أيضًا أليافًا لاودية معنية بإفراز اللعاب. تغادر الألياف قبل العقدة هذا الع صب بعد وقت قصير من منشئها وتشكل *العصب الطبلى*. يعبر هذا العصب تجويف الأذن الوسطى وينتهى فى العقدة العشرية القريبة من الثقب البيضاوى. ثم تتبع الألياف بعد الع قدة العصب الثلاثى التوائم إلى غدة اللعاب النكفية الواقعة أم ام شحمة الأذن مباشرة.

4. العصب المبهم)العصب القحفى العاشر( )انظر الشكل 14 36(. يحمل العصب المبهم حوالى 90% من جميع الألياف قبل العقدة للجهاز العصبى اللاودى. يسير العصب نزولاً فى الر قبة ويشكل ثلاث شبكات فى المنصف الصدرى — الصفيرة القلبية، التى تزود القلب بالألياف؛ الصفيرة الرئوية، التى ترا فق أليافها الشعب الهوائية والأوعية الدموية إلى الرئتين؛ و ا لصفيرة المريئية، التى تنظم أليافها عملية البلع.

[11] *enter* = الأمعاء؛ *ic* = متعلق بـ

[10] *ot* = الأذن؛ *ic* = متعلق بـ

الجدول 15.3 **مقارنة بين القسمين الودى واللاودى**

ميزة	الجهاز العصبى الودى	الجهاز اللاودى)الباراسمبثاوى(
الأصل فى الجهاز العصبى المركزى	الصدرية القطنية	القحفية العجزية
موقع العقد العصبية	العقد العصبية المجاورة للعمود الفقرى والعقد العصبية الأمامية له	العقد العصبية الطرفية بالقرب من أو داخل الأعضاء المستهدفة
أطوال الألياف	قبل العقدة قصيرة	قبل العقدة طويلة
	بعد العقدة طويلة	بعد العقدى القصير
التباعد العصبى	واسع	ضئيل
تأثيرات النظام	غالبًا ما تكون واسعة النطاق وعامة	أكثر تحديدًا ومحلية

15.3 التأثيرات الذاتية على الأعضاء المستهدفة

نتائج التعلم المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. اذكر الناقلات العصبية المستخدمة فى المشابك المختلفة للجهاز العصبى الذاتى؛

ب. اذكر المستقبلات الخاصة بهذه الناقلات العصبية وشرح كيف ترتبط بالتأثيرات الذاتية؛

ج. شرح كيف يتحكم الجهاز العصبى الذاتى فى العديد من الأعضاء المستهدفة من خلال التعصيب المزدوج؛ و

د. اشرح كيف يتم التحكم فى غياب التعصيب المزدوج.

15.3أ الناقلات العصبية ومستقبلاتها

كما ذُكر سابقًا، غالبًا ما يكون لأقسام الجهاز العصبى الذاتى تأثيرات متضادة على عضو ما. على سبيل المثال، يُسرع القسم الودى من ضربات القلب بينما يُبطئ القسم اللاودى ضربات القلب. لكن كل قسم من أقسام الجهاز العصبى الذاتى يمكن أن يكون له تأثيرات متضادة على أعضاء مختلفة. على سبيل المثال، يقوم القسم اللاودى بتقلص جدار المثانة البولية لكنه يُرخى المصرة الإحليلية الداخلية الذكرية؛ كلا الفعلين ضروريان لطرد البول. يستخدم الأستيل كولين لكلا الغرضين.

وبالمثل، يقوم القسم الودي بتضييق معظم الأوعية الدموية لكنه يوسع القصيبات الهوائية للرئتين، ويحقق كلا التأثيرين باستخدام النورابينفرين.

كيف يمكن للخلايا العصبية الذاتية المختلفة أن تُحدث مثل هذه التأثيرات المتضادة؟ هناك سببان أساسيان:)1(تفرز الخلايا العصبية الودية واللاودية ناقلات عصبية مختلفة، و)2(تستجيب الخلايا المستهدفة بطرق مختلفة حتى لنفس الناقل العصبى اعتمادًا على نوع المستقبلات التى تمتلكها له.

جميع الخلايا العصبية الذاتية تفرز إما الأستيل كولين أو النورابينفرين، ولكل من هذين الناقلين العصبيين فئتان رئيسيتان من المستقبلات)الشكل 15.8(.

- الأستيل كولين)ACh(. يُفرز الأستيل كولين بواسطة الخلايا العصبية قبل العقدية فى كلا القسمين والخلايا العصبية بعد العقدية فى القسم اللاودى)الجدول 15.4(. كما يفرز بعض الخلايا العصبية بعد العقدية الودية الأستيل كولين — تلك التى تعصب غدد العرق وبعض الأوعية الدموية. أى خلية عصبية تفرز الأستيل كولين تُسمى خلية كولينية)CO-lin-UR-jic(، وأى مستقبل يرتبط به يُسمى مستقبل كولينى. هناك فئتان من المستقبلات الكولينية:

  - المستقبلات الموسكارينية)MUSS-cuh-RIN-ic(. سُميت بهذا الاسم نسبة إلى الموسكارين، وهو سم فطر استخدم فى اكتشافها. جميع عضلات القلب، والعضلات الملساء، وخلايا الغدد التى تمتلك تعصيبًا كولينيًا تحتوى على مستقبلات موسكارينية. هناك فئات فرعية مختلفة من المستقبلات الموسكارينية ذات تأثيرات مختلفة؛ وبالتالى فإن الأستيل كولين يُنشط الأمعاء

ينظم الضفيرة المعوية حركة المرىء والمعدة والأمعاء وإفراز الإنزيمات الهضمية والحمض. ومع ذلك، لكى تعمل هذه الأنشطة الهضمية بشكل طبيعى، فإنها تتطلب أيضًا تنظيمًا من الجهازين الودى والباراسمبثاوى. يتم مناقشة الضفيرة المعوية بمزيد من التفصيل فى الفصل 25.
تتضح أهميتها فى حركة الأمعاء بشكل كبير عندما تكون الضفيرة غائبة)انظر التعمق 15.1(.

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

3. اشرح لماذا يُطلق على القسم الودى أيضًا اسم القسم الصدرى القطنى على الرغم من أن العقد الجانبية له تمتد من المنطقة العنقية إلى المنطقة العجزية.
4. وصف أو رسم العلاقات الهيكلية بين الألياف قبل العقدية، والألياف بعد العقدية، والفرع الرمادى، والفرع الأبيض، والعقدة الودية.
5. اشرح بمصطلحات تشريحية لماذا يؤثر القسم الباراسمبثاوى على الأعضاء المستهدفة بشكل أكثر انتقائية من القسم الودى.
6. تتبع مسار ليف باراسمبثاوى من العصب المبهم من النخاع المستطيل إلى الأمعاء الدقيقة.



نظرة أعمق 15.1
تطبيق سريرى

توسع القولون

تتضح أهمية الضفيرة المعوية بشكل جلى عند غيابها. هذا هو الحال فى عيب وراثى يُسمى مرض هيرشسبرونغ.[12] خلال التطور الجنينى الطبيعى، تهاجر خلايا القمة العصبية إلى الأمعاء الغليظة وتُنشئ الضفيرة المعوية. ومع ذلك، فى مرض هيرشسبرونغ، تفشل هذه الخلايا فى تزويد الأجزاء البعيدة من الأمعاء الغليظة، مما يترك القولون السينى والمستقيم)انظر الشكل 25.33(بدون العقد المعوية. فى غياب هذه العقد، تفتقر منطقة القولون السينى والمستقيم إلى الحركة، وتظل متضيقة بشكل دائم، مما يعيق مرور البراز. يتراكم البراز ويصبح محشورًا فوق التضيق، مما يؤدى إلى توسع القولون— وهو توسع هائل فى الأمعاء يصاحبه انتفاخ البطن والإمساك المزمن. أخطر المضاعفات التى تهدد الحياة هى غنغرينة القولون، وثقب الأمعاء، وعدوى بكتيرية فى الصفاق)التهاب الصفاق(. العلاج المفضل هو الاستئصال الجراحى للجزء المتأثر وربط القولون السليم مباشرة بقناة الشرح.

عادةً ما يكون مرض هيرشسبرونغ واضحًا حتى عند الوليد، الذى يفشل فى القيام بأول حركة أمعاء متوقعة له. يؤثر المرض على عدد من الأولاد الرضع أربعة أضعاف عدد الفتيات، وعلى الرغم من أن معدل حدوثه فى السكان العامين حوالى 1 من كل 5000 ولادة حية، إلا أنه يحدث فى حوالى 1 من كل 10 أطفال مصابين بمتلازمة داون.
مرض هيرشسبرونغ ليس السبب الوحيد لتوسع القولون. فى أمريكا الوسطى والجنوبية، تنقل الحشرات القارضة المعروفة باسم حشرات التقبيل طفيليات تُسمى التريبانوزومات إلى البشر. هذه الطفيليات، المشابهة لتلك التى تسبب مرض النوم الأفريقى، تسبب مرض تشاغاس.[13] من بين تأثيراتها الأخرى، تدمر عقد الضفيرة المعوية، مما يؤدى إلى توسع هائل وغالبًا ما يكون غنغرينى فى القولون.

[12] هارالد هيرشسبرونغ)1830–1916(، طبيب دنماركى
[13] كارلوس تشاغاس)1879–1934(، طبيب برازيلى

الجدول 15.4 مواقع الألياف الكولينية والأدرينالية في الجهاز العصبي الذاتي

القسم	الألياف قبل العقدية	الألياف بعد العقدية
الجهاز العصبي الودي	دائماً كولينية	غالباً أدرينالية؛ قليل منها كوليني
الجهاز اللاودي (الباراسمبثاوي)	دائماً كولينية	دائماً كولينية

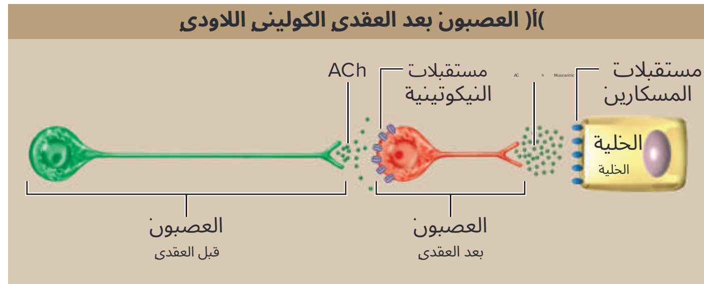
نورإبينفرين (NE). يتم إفراز هذا الناقل العصبي بواسطة معظم ا .
لألياف الودية بعد العقدية تقريبًا (الجدول 15.4).
الخلايا العصبية التي تفرز النورإبينفرين تُسمى الخلايا العصبية
الأدرينالية، ومستقبلاتها تُسمى المستقبلات الأدرينالية.
(النورإبينفرين يُسمى أيضًا نورأدرينالين، وهو أصل مصطلح الأدرينالية)
هناك فئتان رئيسيتان من المستقبلات الأدرينالية، ألفا (α) وبي
تا (β):

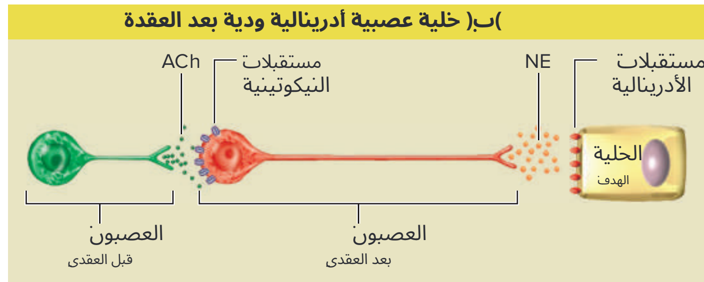
- مستقبلات α-أدرينالية. عادةً ما يكون لها تأثيرات منشّطة. ع
لى سبيل المثال، ارتباط النورإبينفرين بمستقبلات α-أدريناليـ
ة يعزز تقلصات الولادة، ويحفز انتصاب الشعر (piloerecti
on)، ويضيّق الأوعية الدموية الجلدية. لكنه
يثبط حركة الأمعاء. تنتج هذه التأثيرات المتباينة عن اختلا
ف عمل فئتين فرعيتين من مستقبلات α-أدرينالية—α1
و α2. تعمل مستقبلات النوع α 1 من خلال أيونات الكالس
يوم كرسول ثانٍ، بينما تمنع مستقبلات α2 تخليق ا AMP
لحلقي (cAMP).

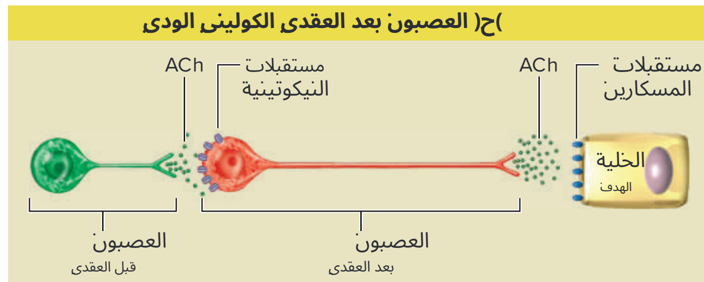
- مستقبلات β-أدرينالية. عادةً ما تكون مثبطة.
على سبيل المثال، يرخّي النورإبينفرين ويوسّع القصيبات ا
لهوائية (مما يعزز تدفق الهواء التنفسي) عند ارتباطه بم
ستقبلات β-أدرينالية في العضلات الملساء. ومع ذلك، عند
ما يرتبط بمستقبلات β-أدرينالية في عضلة القلب، يكون له
تأثير منشّط. هذه التأثيرات المتباينة—زيادة تدفق الهواء ا
لرئوي وتسارع وقوة ضربات القلب—مناسبة بوضوح لحا
لة التمرين. هنا أيضًا هناك فئتان فرعيتان من المستقبلات
β 1، و β2 التي تتوسط تأثيرات مختلفة.

ومع ذلك، كلا النوعين يعملان من خلال cAMP كرسول ثانٍ
.

يلخص الجدول 15.5 تأثيرات التحفيز الودي والباراسمبثاوي على
الأعضاء المستهدفة المختلفة ويُظهر كيف تعتمد بعض هذه التأثيرا
ت على نوع المستقبل. معرفة هذه الأنواع من المستقبلات ضرورية أ
يضًا في مجال علم الأدوية العصبية (انظر التعمق 15.2). العديد من ا
لأدوية الطبيعية ترتبط بشكل انتقائي بفئة أو فئة فرعية معينة من الم
ستقبلات. على سبيل المثال، يرتبط الأتروبين فقط بالمستقبلات المو
سكارينية، والكيورار يرتبط فقط بالمستقبلات النيكوتينية. العديد من ا
لأدوية الصناعية مصممة لتكون انتقائية بالمثل.







الشكل 15.8 النواقل العصبية ومستقبلات الجهاز العصبي الذاتي
.(أ) جميع الخلايا العصبية الباراسمبثاوية هي كولينية. (ب) معظم الخلا
يا العصبية الودية بعد العقدة هي أدرينالية؛ تفرز النورإبينفرين (NE)، والخلا
يا المستهدفة تحمل مستقبلات أدرينالية. (ح) بعض الخلايا العصبية الود
ية بعد العقدة هي كولينية؛ تفرز الأستيل كولين (ACh)، والخلايا المستهدفة
تحمل مستقبلات كولينية من النوع الموسكاريني.

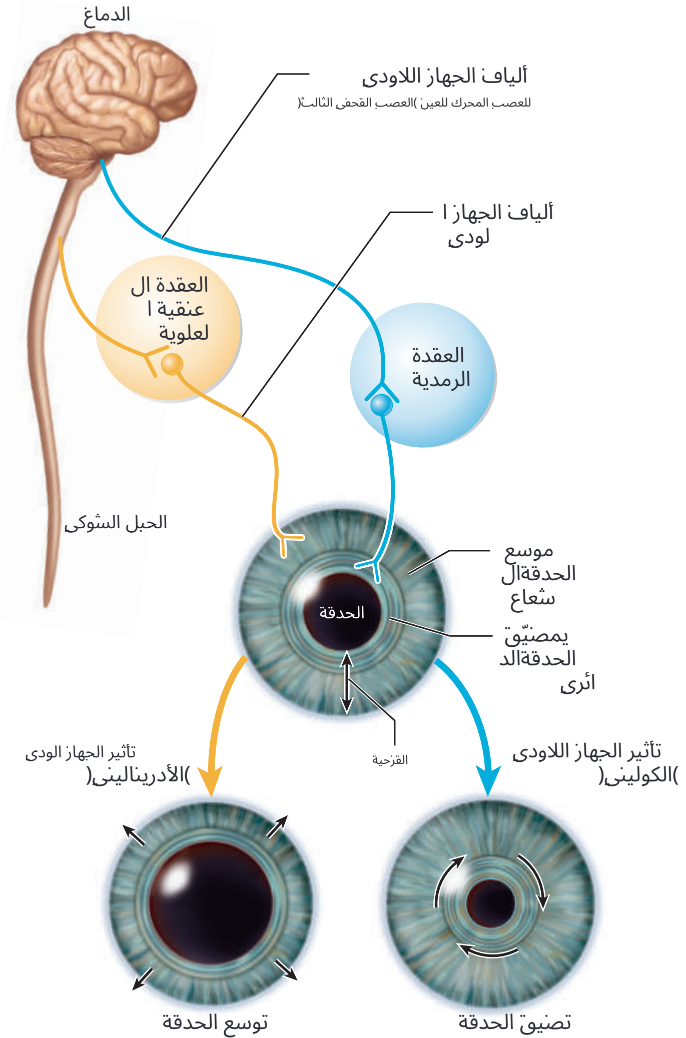
العضلات الملساء من خلال الارتباط بنوع واحد من مس
تقبلات الموسكارين، ويثبط عضلة القلب من خلال الارتباط
بنوع مختلف. تعمل مستقبلات الموسكارين عبر مجموعة م
تنوعة من أنظمة الرسول الثاني.

- مستقبلات النيكوتين (NIC-oh-TIN-ic). سُميت بهذا ال
اسم نسبةً إلى سم نباتي آخر ساعد في اكتشافها—النيكو
تين. توجد في جميع المشابك في العقد الذاتية، حيث
تحفز الألياف قبل العقدية الخلايا بعد العقدية؛ وعلى خلا
يا لب الغدة الكظرية؛ وعند الوصلات العصبية العضلية لأليا
ف العضلات الهيكلية.
ارتباط الأستيل كولين بمستقبل النيكوتين يكون دائمًا من
شطًا. تعمل مستقبلات النيكوتين عن طريق فتح قنوات الأ
يونات التي تفتح بواسطة الرابط، وإنتاج جهد ما بعد المشبكي
منشط في الخلية المستهدفة.

الجدول 15.5	تأثيرات الجهاز العصبى الودى والجهاز العصبى اللاودى	
الهدف	**التأثير الودى ونوع المستقبل**	**التأثير اللاودى)جميعها موسكارينية(**
الأنسجة الدهنية	انخفاض تحلل الدهون)α(	لا تأثير
	زيادة تحلل الدهون)α، β(	
العين		
القزحية	توسع الحدقة)α(	تضييق الحدقة
عضلة الرمش والعدسة	الاسترخاء للرؤية البعيدة)β(	انقباض للرؤية القريبة
غدة الدمع	لا شىء	إفراز
الجهاز الجلدى		
غدد العرق الميروكينية)تبريد(	إفراز)موسكارينى(	لا تأثير
غدد العرق الأبوكينية)رائحة(	إفراز)α(	لا تأثير
عضلات مرفعة الشعر	انتفاخ الشعر)α(	لا تأثير
الجهاز الصمائى		
نخاع الغدة الكظرية	إفراز الهرمونات)النيكوتينى(	لا تأثير
الجهاز الدورى		
معدل ضربات القلب وقوته	زيادة)β(	انخفاض
الشرايين التاجية العميقة	توسع الأوعية الدموية)β(	توسع طفيف فى الأوعية الدموية
	تضيق الأوعية الدموية)α(	
الأوعية الدموية لمعظم الأحشاء	تضيق الأوعية الدموية)α(	توسع الأوعية الدموية
الأوعية الدموية للجلد	تضيق الأوعية الدموية)α(	توسع الأوعية الدموية، احمرار الوجه
الصفائح الدموية)تجلط الدم(	زيادة التجلط)α(	لا تأثير
الجهاز التنفسى		
الشعب الهوائية والشعيبات الهوائية	توسع الشعب الهوائية)β(	تضيق الشعب الهوائية
الغدد المخاطية	انخفاض الإفراز)α(	لا تأثير
	زيادة الإفراز)β(	
الجهاز البولى		
الكلى	انخفاض كمية البول)α(	لا تأثير
جدار المثانة	لا تأثير	انقباض
المصرة الإحليلية الداخلية)غير موجودة عند الإناث(	انقباض، احتباس البول)α(	الاسترخاء، إطلاق البول
الجهاز الهضمى		
الغدد اللعابية	إفراز مخاطى كثيف)α(	إفراز مصل رقيق
حركة الجهاز الهضمى	انخفاض)α، β(	زيادة
إفرازات الجهاز الهضمى	انخفاض)α(	زيادة
الكبد	تحلل الجليكوجين)α، β(	تخليق الجليكوجين
إفراز إنزيمات البنكرياس	انخفاض)α(	زيادة
إفراز الأنسولين البنكرياسى	انخفاض)α(	لا تأثير
	زيادة)β(	
الجهاز التناسلى		
انتصاب القضيب أو البطر	لا تأثير	التحفيز
الإفراز الغدى	لا تأثير	التحفيز
النشوة، أدوار العضلات الملساء	التحفيز)α(	لا تأثير
الرحم	الاسترخاء)β(	لا تأثير
	تقلصات الولادة)α(	

فى حالات أخرى، تنشأ التأثيرات المتضادة لأن كل قسم يعصب خلا يا مؤثرة مختلفة تؤثر بشكل معاكس على وظيفة العضو. فى قزحية ال عين، على سبيل المثال، تعصب الألياف الودية خلايا موسعة للحدقة بينما تعصب الألياف اللاودية خلايا مضيقة)الشكل 15.9(.

تُرى التأثيرات التعاونية عندما يعمل القسمان على مؤثرات مخ تلفة لإنتاج تأثير موحد شامل. اللعاب مثال جيد على ذلك. يحفز الق سم اللاودى خلايا مصلية فى الغدد اللعابية لإفراز إفراز مائى غنى بالإنز يمات، بينما يحفز القسم الودى خلايا مخاطية فى نفس الغدد لإفراز ا لمخاط. الإنزيمات والمخاط هما مكونان ضروريان للعاب.



الشكل 15.9 التزويد العصبى المزدوج لقزحية العين. يوضح التأثيرات المت ضادة للقسم الودى)الأصفر(واللاودى)الأزرق(على القزحية.

؟ إذا كان الشخص فى حالة خوف، هل تتوقع أن تكون الحدقتان متوسعتي ن أم متضيقتين؟ ولماذا؟

التأثيرات الذاتية على إفراز الغدد غالبًا ما تكون نتيجة غير مباشرة للعمل على الأوعية الدموية. تبدأ العديد من إفرازات الغدد كمرشح م ن الدم، يتم تعديله بعد ذلك بواسطة خلايا الغدة. زيادة تدفق الدم عبر الغدة)مثل الغدة اللعابية أو غدة العرق(تميل إلى زيادة الإفراز، وتقليل تدفق الدم يقلل من الإفراز.

تميل التأثيرات الودية إلى الاستمرار لفترة أطول من التأثيرات ال لاودية. بعد أن يفرز ليف لاودى الأستيل كولين)ACh(على خلاياه الم ستهدفة، يتم تكسيره بسرعة بواسطة إنزيم أستيل كولين إستراز)ACh E(ويستمر تأثيره لبضع ثوانٍ فقط. أما النورإبينيف رين)NE(الذى يفرزه ليف ودى، فلديه مصائر مختلفة:)1(يُعاد امت صاص جزء منه بواسطة نهايات المحور العصبى، حيث يُعاد استخدام ه أو يُكسر بواسطة إنزيم يُسمى *أكسيداز أحادى الأمين)MAO(*.)2(ينتشر جزء منه إلى الأنسجة المجاورة، حيث يتحلل بواسطة إنزيم آ خر، *كاتيكول-أو-ميثيل ترانسفيراز)COMT(*.)3(يمر جزء كبير منه إلى مجرى الدم، حيث لا يتواجد MAO وCOMT. هذا النورإبينفرين والإبينفرين من الغدة الكظرية يدوران فى جميع أنحا ء الجسم وقد يمارسان تأثيراتهما لعدة دقائق قبل أن يتحللا نهائيًا فى الكبد.
هذا يوفر تحفيزًا وديًا للخلايا المستهدفة التى لا تتلقى تعصيبًا مباشرًا.

الأستيل كولين)ACh(والنورإبينفرين)NE(ليسا الناقلين العص بيين الوحيدين المستخدمين من قبل الجهاز العصبى الذاتى. على الرغ م من أن جميع الألياف الذاتية تفرز أحد هذين الناقلين، إلا أن العديد م نها يفرز أيضًا ببتيدات عصبية تعدل وطيفة ACh أو NE. قد تفرز الأليا ف الودية أيضًا الإينكيفالين، والمادة P، والنيوروببتيد Y، والسوماتوس تاتين، والنيوروتنسين، أو هرمون مطلق الغونادوتروبين. بعض الألياف اللاودية تسترخى الأوعية الدموية عن طريق تحفيز خلايا البطانة لإفراز أكسيد النيتريك)NO(، وهو غاز. يمنع NO توتر العضلات الملساء فى جدار الوعاء، مما يسمح للوعاء بالتمدد. هذا يزيد من تدفق الدم عبر الو عاء. من بين وظائف أخرى، هذه الآلية حاسمة فى الانتصاب القضيب.

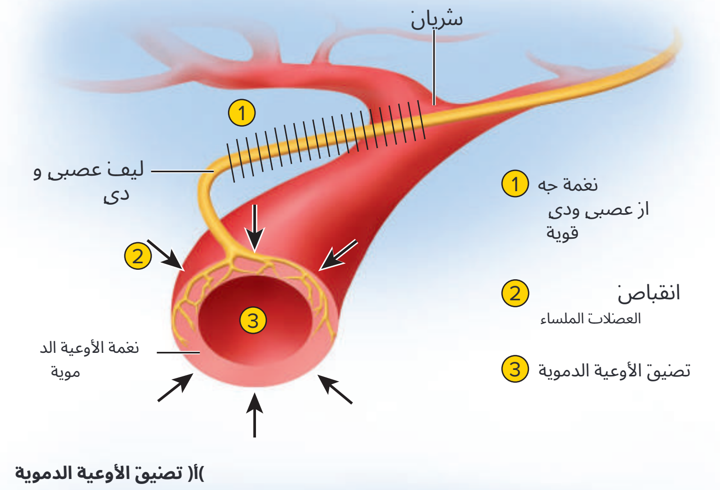
▶▶▶ طبق ما تعرفه

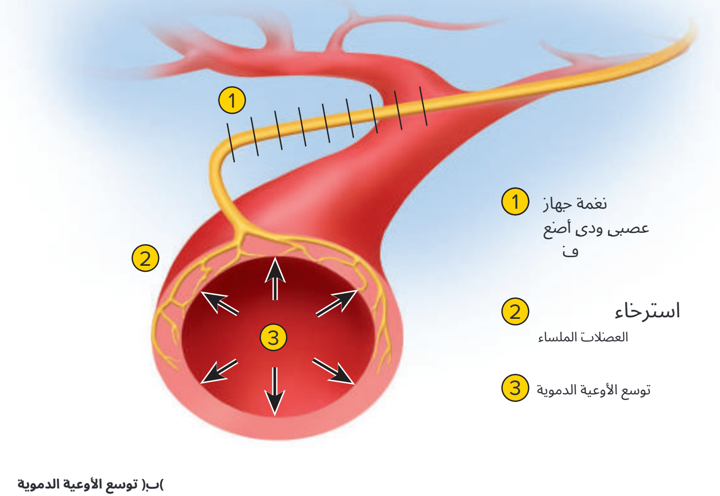
تشير الجدول 15.5 إلى أن الجهاز العصبى الودى له تأثير α-أدرين يرجى على صفائح الدم ويعزز التجلط. كيف يمكنه تحفيز الصفائح الدموية، مع العلم أن الصفائح هى شظايا خلوية عائمة فى مجرى الدم ولا توجد ألياف عصبية تؤدى إليها؟

15.3ب التزويد العصبى المزدوج

تتلقى معظم الأحشاء أليافًا عصبية من كلا القسمين الودى واللاودى، ولذلك يُقال إنها تتمتع بتزويد عصبى مزدوج. فى مثل هذه الحالات، قد يكون للقسمين تأثيرات متضادة أو تعاونية على نفس العضو.

التأثيرات المتضادة تعارض بعضها البعض. على سبيل المثال، ا لقسم الودى يسرع من ضربات القلب بينما القسم اللاودى يبطئها؛ ال قسم الودى يثبط الهضم والقسم اللاودى يحفزه؛ القسم الودى يوسع ا لحدقة والقسم اللاودى يضيقها. فى بعض الحالات، تُمارس هذه التأ ثيرات من خلال التزويد العصبى المزدوج لنفس خلايا المؤثر، كما فى ا لقلب حيث تحفز ألياف الأعصاب من كلا القسمين بعض الخلايا نف سها.





الشكل 15.10 النغمة الودية ونغمة الأوعية الدموية.
)أ(تضيق الأوعية الدموية استجابةً لمعدل عالٍ من إطلاق الأعصاب الودية.)
ب(توسع الأوعية الدموية استجابةً لمعدل منخفض من إطلاق الأعصا
ب الودية. يسمح استرخاء العضلات الملساء لضغط الدم داخل الوعاء
بدفع جدار الوعاء إلى الخارج. تمثل الخطوط السوداء التى تعبر كل لى
ف عصبى جهد الفعل، مع تردد إطلاق عالٍ فى الجزء)أ(وتردد أقل فى الجز
ء)ب(.

حتى عندما تقوم أقسام الجهاز العصبى الذاتى المختلفة بتعصي
ب عضو واحد، فإنها لا تعصبه دائمًا بشكل متساوٍ أو تمارس تأثيرًا م
تساويًا.على سبيل المثال، يمارس القسم اللاودى)الباراسمباثاوى(وا
لعقدة المعوية تأثيرًا أكبر بكثير على الجهاز الهضمى مقارنة بالقسم الو
دى.فى البطينين القلبيين، على العكس من ذلك، يكون التعصيب ال
لاودى أقل بكثير من التعصيب الودى.

15.3ح التحكم بدون تعصيب مزدوج

ليس التعصيب المزدوج ضروريًا دائمًا لكى ينتج الجهاز العصبى الذا
تى تأثيرات متعاكسة على عضو ما.تتلقى لب الغدة الكظرية، وعضلا
ت القائم، والغدد العرقية، والعديد من الأوعية الدموية أليافًا ودية فق
ط.أهم الأمثلة على التحكم بدون تعصيب مزدوج هى تنظيم ضغط الد
م ومسارات تدفق الدم.تمتلك الألياف الودية إلى الوعاء الدموى نغمة
ودية أساسية، تحافظ على الأوعية فى حالة تضيق جزئى تسمى نغمة
الأوعية الدموية)الشكل 15.10(.

زيادة معدل الإطلاق تضيق الوعاء عن طريق زيادة انقباض العضلات ا
لملساء.انخفاض تردد الإطلاق يوسع الوعاء بالسماح للعضلات الملسا
ء بالاسترخاء.ضغط الدم فى الوعاء، الذى يدفع إلى الخارج على جدار ا
لوعاء ويواجه مقاومة أقل، يؤدى إلى توسيع الوعاء.وبالتالى، يمارس ال
قسم الودى وحده تأثيرات متعاكسة على الأوعية الدموية.

يمكن للتحكم الودى فى نغمة الأوعية الدموية تحويل تدفق الدم م
ن عضو إلى آخر وفقًا للاحتياجات المتغيرة للجسم.فى أوقات الطوارئ
أو التوتر أو التمرين، تحظى عضلات الهيكل العظمى والقلب بأولوية ع
الية ويقوم القسم الودى بتوسيع الشرايين التى تزودهما.يمكن أن تن
تظر عمليات مثل الهضم وامتصاص المغذيات وتكوين البول؛ لذلك،
يقوم القسم الودى بتضييق شرايين الجهاز الهضمى والكلى.كما يقلل
من تدفق الدم عبر الجلد، مما قد يساعد فى تقليل النزيف فى حال أد
ى الوضع المسبب للتوتر إلى إصابة.علاوة على ذلك، نظرًا لعدم وجود
دم كافٍ فى الجسم لتزويد جميع أجهزة الأعضاء بشكل متساوٍ، فمن ا
لضرورى تحويل الدم مؤقتًا بعيدًا عن بعض الأعضاء لتزويد كمية كافية
للجهاز العضلى.

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

7. ما هى الناقلات العصبية التى تفرزها الألياف الأدرينالية والكولين
يرجية؟
8. لماذا تستمر تأثيرات الجهاز الودى لفترة أطول من تأثيرات الجهاز
اللاودى؟
9. كيف يمكن للقسم الودى أن يسبب استرخاء العضلات الملساء فى
بعض الأعضاء لكنه يسبب انقباضها فى أخرى؟
10. ما هما الطريقتان اللتان يمكن من خلالهما للجهازين العصبى السم
بثاوى والباراسمبثاوى أن يؤثرا على بعضهما البعض عندما يعصبان
نفس العضو المستهدف؟ قدم أمثلة.
11. كيف يمكن للجهاز العصبى الودى أن يكون له تأثيرات متناقضة فى
عضو مستهدف دون تعصيب مزدوج؟

التحكم المركزى فى الوظيفة الذا تية 15.4

نتائج التعلم المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. تحديد أجزاء الدماغ التى تؤثر على الجهاز العصبى الذاتى؛
ب. تقديم أمثلة على التأثيرات العاطفية على وظيفة الجهاز الع
صبى الذاتى؛ و
ج. تقديم أمثلة على التحكم النخاعى فى وظائف الجهاز العصبى
الذاتى.

اسمه، فإن الجهاز العصبي الذاتي ليس جهازًا عصبيًا مستقلاً. في هذا القسم ندرس بإيجاز كيف يتأثر بمستويات مختلفة من الجهاز العصبي المركزي.

- القشرة الدماغية. حتى لو لم نتمكن عادةً من التحكم الواعي في الجهاز العصبي الذاتي، فمن الواضح أن العقل يؤثر عليه. الغضب يرفع ضغط الدم، الخوف يجعل القلب ينبض بسرعة، أ فكار الطعام الجيد تجعل المعدة تصدر أصواتًا، الأفكار الجنس ية أو التحفيز يزيدان من تدفق الدم إلى الأعضاء التناسلية، والقل ق يعيق الوظيفة الجنسية. النظام الحوفي، وهو جزء قديم من المخ، يشارك في العديد من الاستجابات العاطفية وله اتصالا ت واسعة مع تحت المهاد، وهو موقع لعدة نوى تتحكم في ا لجهاز العصبي الذاتي. وبالتالي، يوفر النظام الحوفي مسارًا ير بط بين التجارب الحسية والعاطفية ونظام الأعصاب الذاتية.

- تحت المهاد. المركز الرئيسي للتحكم في الجهاز الحركي الح شوى هو تحت المهاد. هذه المنطقة الصغيرة ولكن الحيو ية في قاع الدماغ تحتوي على العديد من النوى لوظائف بدا ئية، بما في ذلك الجوع، العطش، تنظيم الحرارة، العواطف، وا لجنس. التحفيز الاصطناعي لمناطق مختلفة من تحت المهاد يمكن أن ينشط استجابة القتال أو الهروب النمطية للجهاز الع صبي الودي أو أن يكون له تأثيرات مهدئة نمطية للجهاز الع صبي اللاودي.
تنتقل الإشارات الصادرة من تحت المهاد بشكل كبير إلى النوى في جذع الدماغ، ومن هناك إلى الأعصاب القحفية والعصبونات الودية في الحبل الشوكي.

- المخ المتوسط، الجسر، والنخاع المستطيل. هذه المناطق من ج ذع الدماغ تحتوي على العديد من النوى الذاتية التي وُصفت في القسم 14.3: مراكز التحكم في القلب والأوعية الدموية، اللعاب، البلع، التعرق، إفرازات الجهاز الهضمي، التحكم في الم ثانة، تضييق وتوسيع الحدقة، ووظائف بدائية أخرى. العديد من هذه النوى تنتمي إلى التكوين الشبكي، الذي يمتد من النخاع المستطيل إلى تحت المهاد. تنتقل الإشارات الذاتية الصادرة من هذه النوى عن طريق الحبل الشوكي والأعصاب المحركة ل لعين، والوجه، والبلعومي اللساني، والعصب المبهم.

- الحبل الشوكي. أخيرًا، يدمج الحبل الشوكي مثل هذه المنعك سات الذاتية مثل التبول)الإدرار(، التبرز، الانتصاب، والقذف، والتي سيتم تفصيلها في الفصول اللاحقة. لحسن الحظ، يستط يع الدماغ تثبيط التبرز والتبول بوعي، ولكن عندما تقطع الإ صابات الحبل الشوكي عن الدماغ، تتحكم المنعكسات الذاتي ة في الحبل الشوكي وحدها في التخلص من البول والبراز.

الجدول 15.6 يصف بعض اضطرابات الجهاز العصبي الذاتي.

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

12. ما هو النظام في الدماغ الذي يربط بين أفكارنا ومشاعرنا الواعية ومر اكز التحكم الذاتية في تحت المهاد؟
13. اذكر بعض الاستجابات الذاتية التي تتحكم بها النوى في تحت المهاد.
14. ما هي أدوار المخ المتوسط، الجسر، والنخاع المستطيل في التح كم الذاتي؟
15. اذكر بعض المنعكسات الحشوية التي يتحكم بها الحبل الشوكي.

الجدول 15.6 بعض اضطرابات الجهاز العصبي الذاتي

متلازمة هورنر [14]	تضييق حدقة العين الأحادي المزمن، تدلي الجفن، انسحاب العين إلى التجويف، احمرار الجلد، ونقص التعرق الوجهي؛ تنتج عن إصابات في العقد العنقية، الحبل الشوكي الصدري العلوي، أو جذع الدماغ التي تقطع التعصيب الودي للرأس.
انخفاض ضغط الدم الانتصابي)الوضعية([15]	انخفاض مفاجئ في ضغط الدم عند النهوض من وضعية الاستلقاء أو الجلوس، مما يسبب الدوار وأحيانًا الإغماء أو السقوط. ينتج عن اس تجابة القلب والأوعية الدموية الذاتية غير السريعة بما فيه الكفاية لتغير الوضعية. قد يكون سببه عوامل متعددة بما في ذلك الأدوية والأمرا ض الكامنة. يصبح أكثر شيوعًا مع التقدم في العمر.
مرض رينود [16]	نوبات متقطعة من الشحوب، الزرقة، والألم في الأصابع وأصابع القدم، تحدث عندما يؤدي البرد أو التوتر العاطفي إلى انقباض مفرط للأوعية الدموية في الأصابع؛ وهو الأكثر شيوعًا بين النساء الشابات. في الحالات الشديدة، يسبب الغرغرينا وقد يتطلب البتر. يُعالج أح يانًا بقطع الأعصاب الودية للمناطق المتأثرة.

يمكنك العثور على اضطرابات أخرى في الجهاز العصبي الذاتي موصوفة في الأماكن التالية:

رد الفعل الانعكاسي الجماعي في التعمق 13.5؛ التأثيرات الذاتية لإصابات الأعصاب القحفية في القسم 14.6ح؛ و مرض هيرشسبرونغ و مرض شاغاس في التعمق 15.1.

[14] يوهان ف. هورنر)1831–1886(، طبيب عيون سويسري
[15] *أرثو* = مستقيم للأعلى؛ *ثابت* = واقف؛ *تحت* = أقل من الطبيعي؛ *توتر* = ضغط الدم
[16] موريس رينو)1834–81(، طبيب فرنسي



رؤية أعمق 15.2

تطبيق سريرى

الأدوية والجهاز العصبى

علم الأدوية العصبية هو فرع من الطب يتعامل مع تأثيرات الأدوية على الجهاز العصبى، وخاصة الأدوية التى تحاكى أو تعزز أو تثبط عمل الناقلات العصبية. ستوضح بعض الأمثلة الأهمية السريرية لوظائف الناقلات العصبية والمستقبلات.

تعمل عدد من الأدوية عن طريق تحفيز الخلايا العصبية أو المستقبلات الأدرينا لية والكولينيرجية. الأدوية المحاكاة للجهاز الودى[17] هى أدوية تعزز النشاط الودى. فهى تحفز المستقبلات الأدرينالية أو تعزز إفراز النورإبينفرين. على سبيل المثال، ا لفينيل إفرين، الموجود فى أدوية البرد مثل ديميتاب وسودافيد بى إى، يساعد عل ى التنفس عن طريق تحفيز مستقبلات α-أدرينالية، مما يؤدى إلى توسيع القصى بات وتضييق الأوعية الدموية الأنفية، وبالتالى تقليل التورم فى الغشاء المخاطى ا لأنفى. الأدوية المثبطة للجهاز الودى[18] هى أدوية تثبط النشاط الودى عن طريق م نع إفراز النورإبينفرين أو عن طريق الارتباط بالمستقبلات الأدرينالية دون تحفيزها. على سبيل المثال، البروبرانولول هو حاصر بيتا. يقلل من ارتفاع ضغط الدم جزئياً عن طريق حصر مستقبلات β-أدرينالية. وهذا يتداخل مع تأثيرات الإبينفرين والنورإ بينفرين على القلب والأوعية الدموية.)كما يقلل من إنتاج الأنجيوتنسين II، وهو هرمون يحفز تضيق الأوعية ويرفع ضغط الدم.(

المحاكيات اللاودية تعزز التأثيرات اللاودية. على سبيل المثال، يخفف البيلوكا ربين الجلوكوما)ارتفاع الضغط داخل مقلة العين(عن طريق توسيع وعاء يصرف ا لسائل من العين. أما مضادات اللاودية فهى تمنع إفراز الأستيل كولين أو تحجب مستقبلاته. على سبيل المثال، الأتروبين يحجب المستقبلات المسكارينية. يُستخ دم أحيانًا لتوسيع حدقة العين لفحوصات العين ولتجفيف الأغشية المخاطية فى ا لجهاز التنفسى قبل التخدير بالاستنشاق. وهو مستخلص من نبات العرن المثقو ب القاتل، أتروبا بيلادونا.[19] كانت نساء العصور الوسطى يستخدمن العرن المثقو ب لتوسيع حدقات عيونهن، وهو ما كان يُعتبر تعزيزًا للجمال.

الأدوية المذكورة حتى الآن تؤثر على الجهاز العصبى المحيطى ومفعولاته. وهناك العديد من الأدوية الأخرى التى تؤثر على الجهاز العصبى المركزى. على سبيل المثال، الستركنين يحجب التأثير المثبط للجليسين على الخلايا العص بية الحركية فى الحبل الشوكى. مما يؤدى إلى تحفيز مفرط للعضلات، مسببًا شللًا تشنجيًا وأحيانًا الوفاة بالاختناق.

تنبأ سيغموند فرويد بأن الطب النفسى سيعتمد فى النهاية على علم الأحياء وا لكيمياء لمعالجة المشاكل العاطفية التى كانت تُعالج سابقًا فقط من خلال الاست شارة والتحليل النفسى. وقد حقق فرع من علم الأدوية العصبية يُسمى علم الأدو ية النفسية هذا التنبؤ.

إدارة الاكتئاب السريرى هى مثال على كيفية تكامل علم الأدوية النفسية المعا صر مع أساليب الاستشارة. بعض أشكال الاكتئاب تنتج عن نقص فى نواقل أحاد ية الأمين العصبية. لذا، تستجيب للأدوية التى تطيل تأثيرات أحادية الأمين الموج ودة بالفعل فى المشابك العصبية. على سبيل المثال، البروزاك)فلوكستين(يحج ب إعادة امتصاص السيروتونين ويطيل تأثيره المعزز للمزاج؛ لذلك يُسمى مثبط ا نتقائى لإعادة امتصاص السيروتونين)SSRI(. كما يُستخدم لعلاج الخوف من الرف ض، الحساسية المفرطة للنقد، نقص احترام الذات، وعدم القدرة على الشعور بالم تعة، وهى حالات كانت تُعالج سابقًا فقط من خلال الاستشارة، العلاج الجماعى، أو التحليل النفسى. بعد امتصاص أحادية الأمين من المشبك، يتم تحللها بواسطة إ نزيم أوكسيداز أحادى الأمين)MAO(. الأدوية المسماة مثبطات MAO تبطئ تحل ل نواقل أحادية الأمين العصبية وتوفر نهجًا دوائيًا آخر لعلاج الاكتئاب.

فهمنا المتزايد للكيمياء العصبية يمنحنا أيضًا رؤية أعمق فى عمل الأدوية الإدم انية مثل الأمفيتامينات والكوكايين. الأمفيتامينات)"السرعة"(تشبه كيميائيًا النورإبينفرين والدوبامين، ناقلان عصبيان مرتبطان بالمزاج المرتفع. الدوبامين مهم بشكل خاص فى إحساس المتعة. الكوكايين يمنع إعادة امتصاص الدوبامين وبالتالى يُنتج اندفاعًا مؤقتًا من المشاعر الجيدة. ولكن عندما لا يُعاد امتصاص الدوبامين بواسطة الخلايا العصبية، فإنه ينتشر خارج الشق التشابكى ويتم تحلله فى مكان آخر. لذلك، يستنزف الكوكايين الخلايا العصبية من الدوبامين أسرع مما يمكنها تصنيعه، وفى النهاية لا يتوفر مخزون كافٍ للحفاظ على المزاج الطبيعى. تقوم الخلايا العصبية ما بعد التشابك بصنع مستقبلات دوبامين جديدة كما لو كانت "تبحث" عن الناقل العصبى—وكل ذلك يؤدى فى النهاية إلى القلق، والاكتئاب، وعجز عن الشعور بالمتعة بدون الدواء.

الكافيين يُمارس تأثيره المنبه من خلال التنافس مع الأدينوسين. الأدينوسين، الذى تعرفه كمكون من مكونات DNA وRNA وATP، يعمل أيضًا كم نظم عصبى فى الدماغ، حيث يثبط إفراز الأستيل كولين)ACh(بواسطة الخلايا الع صبية الكولينية. إحدى نظريات النعاس تفترض أنه يحدث عندما يؤدى النشاط الأ يضى المطول إلى تحلل كمية كبيرة من ATP بحيث يكون للأدينوسين المتراكم تأ ثير مثبط ملحوظ. الكافيين له تشابه هيكلى كافٍ مع الأدينوسين)الشكل 15.11(ليتمكن من الارتباط بمستقبلاته، لكنه لا يُنتج التأثير المثبط. وبالتالى، يمنع الأدين وسين من ممارسة تأثيره، ويتم إفراز المزيد من الأستيل كولين، ويشعر الشخص بمزيد من اليقظة.



الشكل 15.11 الأدينوسين والكافيين. الأدينوسين، ناتج تحلل ATP ومواد كيميائية أخرى، يثبط إفراز الأستيل كولين ويُحدث شعورًا بالنعاس. الكافيين مشابه بما يكفى ليمنع عمل الأدينوسين عن طريق الارتباط بمستقبلاته. وهذا يؤدى إلى زيادة إفراز الأستيل كولين وزيادة اليقظة.

يسار: Stockbyte/Getty Images; يمين: Duncan Walker/Getty Images

[17] *mimet* = تحاكى، تقلد

[18] *lyt* = تحلل، تدمر

[19] *bella* = جميلة، حسنة؛ *donna* = امرأة

دليل الدراسة

قيّم نتائج تعلمك

لاختبار معرفتك، ناقش المواضيع التالية مع شريك دراسة أو كتابةً، ويفضل من الذاكرة.

15.1 الخصائص العامة للجهاز العصبى الذاتى

1. الوظيفة الأساسية والمؤثرات لجهاز العصبى الذاتى (ANS)
2. لماذا يُسمى هذا النظام *الجهاز العصبى الذاتى*؛ وكيف يختلف عن الجهاز الحركى الجسدى
3. الوظائف الأساسية والمتناقضة للقسمين الودى والباراسمبثاوى من الجهاز العصبى الذاتى
4. لماذا لا يمكن القول إنه فى أى لحظة معينة يكون إما القسم الودى أو الباراسمبثاوى نشطًا؛ معنى ذلك *النغمة الذاتية*
5. المكونات التشريحية الأساسية للجهاز العصبى الذاتى
6. كيف تختلف المسارات العصبية الصادرة الذاتية عن المسارات العصبية الصادرة الجسدية؛ معانى *الألياف قبل العقدية* و *الألياف بعد العقدية*

15.2 تشريح الجهاز العصبى الذاتى

1. أصل الألياف قبل العقدية الودية والمسارات التى تسلكها إلى عقيدات السلسلة الودية
2. تشريح السلسلة الودية؛ عدد العقيدات فى مستوياتها المختلفة؛ والمناطق الجسدية التى تزودها الألياف العصبية الصادرة من كل مجموعة من العقيدات
3. الأفرع الرمادية والبيضاء المتصلة التى تربط العقيدات الودية بالأعصاب الشوكية؛ سبب تسميتها *رمادية* و *بيضاء*؛ والمسار الذى تسلكه الألياف العصبية الودية عبر هذه الأفرع
4. الاختلافات بين مسار العصب الشوكى، مسار العصب الودى، ومسار العصب الحشوى التى تخرج منها الألياف من السلسلة الودية
5. أماكن مختلفة قد تتشابك فيها ألياف قبل العقدية الودية مع العصبون بعد العقدى
6. مواقع العقيدات المعوية، والعقيدات المساريقية السفلية، والعقيدات المساريقية السفلية؛ الاسم الجماعى لها؛ والمعانى المتنوعة لتعبير *الضفيرة الشمسية*
7. درجة وأهمية التفرع العصبى فى الجهاز العصبى الودى، وتأثير ذلك على تحفيز العضو المستهدف
8. لماذا يمكن اعتبار لب الغدة الكظرية جزءًا من الجهاز العصبى الودى؛ وما هى المنتجات التى يفرزها عند تحفيزه
9. أسماء وأرقام الأعصاب القحفية والعمودية التى تحمل الألياف قبل العقدية للجهاز العصبى اللاودى؛ وأى عصب يحمل أكبر نسبة من الألياف اللاودية
10. مسار العصب المبهم، وأسماء ومواقع الضفائر والجذوع التى ينشأ عنها
11. أين توجد، بشكل عام، العقد الطرفية للقسم اللاودى، ومن ثم أين تبدأ الألياف بعد العقدية
12. موقع ووظائف الضفيرة المعوية

15.3 التأثيرات الذاتية على الأعضاء المستهدفة

1. لماذا يعتمد التأثير الذاتى على الخلية المستهدفة على كل من الناقل العصبى المُفرَز ونوع المستقبل على الخلية المستهدفة
2. الفرق بين الألياف الكولينية والأدرينالية وأين يمكن العثور على كل منها فى الجهاز العصبى الذاتى
3. ما يشترك فيه مستقبلات النيكوتين والمسكارين، وكيف تختلف، وأين توجد فى الجهاز العصبى الذاتى
4. ما الذى يشترك فيه مستقبلات α- و β-الأدرينالية، كيف تختلف، وأين توجد فى الجهاز العصبى الذاتى
5. استقرار الناقلات العصبية وكيف يرتبط بمدة تأثيرات الجهاز العصبى الودى مقابل الجهاز العصبى اللاودى
6. تنوع الناقلات العصبية والمواد المعدلة العصبية التى يستخدمونها
7. التحكم الذاتى فى بعض الأعضاء بواسطة التعصيب المزدوج، وأمثلة على التأثيرات المتضادة والتعاونية على عضو ما
8. كيف يمكن للجهاز العصبى الذاتى تنظيم الأعضاء التى تفتقر إلى التعصيب المزدوج

15.4 السيطرة المركزية على وظيفة الجهاز العصبى الذاتى

1. أمثلة على تأثير القشرة الدماغية، الوطاء (الهيبوثالاموس)، الدماغ المتوسط، الجسر، النخاع المستطيل، والحبل الشوكى على الجهاز العصبى الذاتى، ومشاركتهم فى التأثيرات الذاتية

اختبار استرجاعك

الإجابات فى الملحق أ

1. الجهاز العصبى الذاتى يعصب جميع هذه *ما عدا*
   أ. عضلة القلب.
   ب. العضلات الهيكلية.
   ج. العضلات الملساء.
   د. الغدد اللعابية.
   هـ. الأوعية الدموية.

2. مستقبلات المسكارين ترتبط
   أ. الأدرينالين.
   ب. النورأدرينالين.
   ج. الأستيل كولين.
   د. الكولينستراز.
   هـ. البيتيدات العصبية.

3. جميع الأعصاب القحفية التالية *ما عدا* ______ تحمل ألياف الجهاز العصبى اللاودى.
   أ. العصب المبهم
   ب. العصب الوجهى
   ج. العصب المحرك للعين
   د. العصب البلعومى اللسانى
   هـ. العصب تحت اللسانى

دراسة دليل

4. أى من الأعصاب القحفية التالية يحمل أليافًا ودية؟
   أ. العصب المحرك للعين
   ب. العصب الوجهى
   ج. العصب الثلاثى التوائم
   د. العصب المبهم
   هـ. لا شىء منها

5. أى من هذه العقد *ليست* مشاركة فى القسم الودى؟
   أ. داخل الجدار
   ب. العقدة العنقية العلوية
   ج. العقدة المجاورة للعمود الفقرى
   د. العقدة المساريقية السفلى
   هـ. السباتيكى

6. يُفرز الأدرينالين بواسطة
   أ. الألياف قبل العقدية الودية.
   ب. الألياف بعد العقدية الودية.
   ج. الألياف قبل العقدية اللاودية.
   د. الألياف بعد العقدية اللاودية.
   هـ. النخاع الكظرى.

7. أهم مركز تحكم ذاتى داخل الجهاز العصبى المركزى هو
   أ. القشرة الدماغية.
   ب. الجهاز الحوفى.
   ج. المخ الأوسط.
   د. الوطاء.
   هـ. عقد السلسلة الودية.

8. الفرع الرمادى الواصل يحتوى على
   أ. ألياف حسية داخلية.
   ب. ألياف حركية باراسمبثاوية.
   ج. الألياف قبل العقدية الودية.
   د. الألياف بعد العقدية الودية.
   هـ. ألياف حركية جسدية.

9. فى جميع أنحاء الجهاز العصبى الذاتى، يرتبط الناقل العصبى الذى يفرزه الليف قبل العقدى بـ ______ مستقبلات على العصبون بعد العقدى.
   أ. النيكوتينى
   ب. الموسكارينى
   ج. الأدرينالية
   د. ألفا
   هـ. بيتا

10. أى من هذه لا ينتج عن التحفيز الودى؟
   أ. توسيع الحدقة
   ب. تسريع القلب
   ج. إفرازات الجهاز الهضمى
   د. تعزيز تجلط الدم
   هـ. انتفاش الشعر

11. تُسمى بعض الألياف العصبية ______ الألياف لأنها تفرز النورإبينفرين.

12. ______ هى حالة يتلقى فيها العضو المس تهدف كلًا من الألياف الودية واللاودية.

13. ______ هى حالة نشاط خلفى مستمر لقسمى الجهاز العصبى الودى واللاودى.

14. معطم الألياف قبل العقدة فى الجهاز العصبى اللاودى توجد فى ______ العصب.

15. لجهاز الهضم نظام عصبى شبه مستقل يسمى ______ الجهاز العصبى.

16. MAO و COMT هما إنزيمان يقومان بتفكيك ______ فى بعض المشابك العصبية للجهاز الذاتى.

17. تتكون لب الغدة الكظرية من خلايا عصبية بعد العقدة معدلة من ______ الجهاز العصبى.

18. يحتوى الجهاز العصبى الودى على ألياف عصبية قصيرة ______ وألياف طويلة ______ عصبية.

19. تعمل مستقبلات الأدرينالية المصنفة كـ α_1 و β_1 و β_2 عن طريق تغيير مستوى ______ فى الخلية المستهدفة.

20. تحافظ الألياف الودية إلى الأوعية الدموية على حالة من التضيق الوعائى الجزئى تسمى ______.

الإجابات فى الملحق أ

بناء مفرداتك الطبية

اذكر معنى كل عنصر من عناصر الكلمة، وقدم مصطلحًا طبيًا من هذا الفصل يستخدمه أو تعديلًا طفيفًا عليه.

1. بارو-
2. ليتو-
3. muro-
4. نومو-
5. أوتو-
6. باثو-
7. رينو-
8. سبلانشنو-
9. سيم-
10. فيسيرو-

الإجابات فى الملحق أ

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

اشرح بإيجاز لماذا كل من العبارات التالية خاطئة، أو أعد صياغتها لتصبح صحيحة.

1. ينغلق الجهاز العصبى اللاودى عندما يكون الجهاز العصبى الودى نشطًا، والعكس صحيح.
2. يتحكم الجهاز العصبى اللاودى فى توسع وتضييق الأوعية الدموية فى الجلد.
3. التحكم الإرادى فى الجهاز العصبى الذاتى غير ممكن.
4. يحفز الجهاز العصبى الودى الهضم.
5. جميع الألياف بعد العقدة فى الجهاز العصبى الودى أدرينالية.
6. لا يمكن التبول والتغوط بدون إشارات من الدماغ إلى المثانة والمستقيم.
7. بعض ألياف الجهاز العصبى اللاودى أدرينالية.
8. تكون تأثيرات الجهاز العصبى الودى أكثر تحديدًا ومخصصة للأعضاء مقارنة بتأثيرات الجهاز العصبى اللاودى.
9. تحمل الأعصاب العينية، والوجهية، وتحت اللسانية، والعصب المبهم الألياف اللاودية التى تنشأ من الدماغ.
10. للقسمين فى الجهاز العصبى الذاتى تأثيرات تعاونية على القزحية.

الإجابات فى الملحق أ

دليل الدراسة

اختبار فهمك

1. أنت تقطع البصل النيء أثناء تحضير العشاء، وبخار البصل يجعل عينيك تدمعان. صف المسارات الواردة والصادرة المشاركة فى هذا الاستجابة.

2. افترض أنك تمشى وحيدًا فى الليل عندما تسمع كلبًا يزمجر خلفك مباشرة. صف الطرق التى سيجهزك بها الجهاز العصبى الودى ل لتعامل مع هذا الموقف.

3. افترض أن الأعصاب القلبية قد تم تدم يرها. كيف سيؤثر ذلك على القلب وقدرة الح سم على التفاعل مع موقف مرهق؟

4. ما هى الفائدة التى قد يحصل عليها الذئب م ن تحفيز الجهاز العصبى الودى لعضلات القارع ة (arrector muscles)؟ ماذا يحدث فى الإ نسان عندما يحفز الجهاز العصبى الودى هذ ه العضلات؟

5. أفادت الأدبيات الطبية للأطفال عن العديد من حالات الت سمم لدى الأطفال بسبب دواء لوموتيل (Lomotil)، وه و دواء مضاد للإسهال. يعمل لوموتيل بشكل رئيسى من خلال تأثيرات تشبه المورفين لمكونه الرئيسى، ديفينوكسيلا ت (diphenoxylate)، ولكنه يحتوى أيضًا على الأتروبى ن (atropine). بالنظر إلى آلية العمل الموضحة للأترو بين فى القسم 15.2 من "Deeper Insight"، لماذا قد يساهم فى التأثير المضاد للإسهال للوموتيل؟

فى حالة تسمم الأتروبين، هل تتوقع أن تكو ن حدقات العين متوسعة أم متضيقة؟ هل ستكون البشرة رطبة أم جافة؟ هل سيكون معد ل ضربات القلب مرتفعًا أم منخفضًا؟ هل سيحتفظ المثانة بالبول أم ستفرغه بشكل لا إر ادى؟ اشرح كل إجابة. يعالج تسمم الأتروبين باستخدام الفيزوستجمين (physostigmine)، وهو مثبط لإنزيم الكولينستراز. اشرح مبرر هذا العلاج.

CHAPTER 16

SENSE ORGANS



قزحية العين. تُستخدم تعقيدات وتفرد القزحية بشكل متزايد للتحقق من ا لهوية.

روبرت مورا/صورة من ألامى ستوك

مخطط الفصل

رؤى أعمق

Anatomy & Physiology Revealed 4.0

Module 7: Nervous System

خصائص وأنواع المستقبلات الحسية **16.1**

نتائج التعلم المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. تعريف المستقبل و عضو الحس؛

ب. سرد الأنواع الأربعة من المعلومات التي يتم الحصول عليها من المستقبلات الحسية، ووصف كيفية ترميز الجهاز العصبي لكل نوع؛ و

ح. تحديد ثلاث طرق لتصنيف المستقبلات.

مراجعة

- فهم كيفية عمل بعض الحواس—بما في ذلك التذوق والشم—يعتمد على معرفة بروتينات G، وcAMP، وأنظمة الرسائل الثانية، كما هو موضح في الشكل 3.8 والنص المرافق.
- يفترض وصف هذا الفصل لعملية السمع معرفة سابقة بقنوات الغشاء الميكانيكية البوابة)انظر القسم 3.2أ(وتدفق الأيونات عبر التدرج الكهروكيميائي)انظر القسم 11.3ح(.
- عدة مفاهيم في القسم 12.6 مهمة لفهم العمليات الحسية: الجهود ما بعد المشبكية)EPSPs وIPSPs(، الجمع الزمني والمكاني، الترميز العصبي، والدوائر العصبية المتقاربة.
- ستحتاج إلى تذكر مفاهيم مسارات الحبل الشوكي والتقاطع)انظر القسم 13.1هـ(لفهم المسارات الحسية من مستقبلات أسفل الجسم إلى الدماغ.
- الإلمام ببعض الأعصاب القحفية ضروري لفهم مسارات حسية أخرى إلى الدماغ—وخاصة العصب الشمي، البصري، ثلاثي التوائم، الوجهي، الدهليزي القوقعي، البلعومي اللساني، والعصب المبهم، وكلها موصوفة في الجدول 14.1.
- يجب أن تعرف التشريح العام للدماغ، وخاصة الفصوص والتلافيف في قشرة المخ، لفهم مكان استقبال ومعالجة الإشارات الحسية)انظر القسم 14.4ب(.
- لفهم تشريح الأذن، سيكون من المفيد استرجاع تشريح عظم الصدغ)انظر "عظام الصدغ" في القسم 8.2أ(.

أي شخص يستمتع بالموسيقى أو الفن أو الطعام الفاخر أو محادثة حادة يقدّر الحواس البشرية. ومع ذلك، فإن أهميتها تمتد إلى ما هو أبعد من مجرد الاستمتاع بالبيئة. في خمسينيات القرن الماضي، درس علماء السلوك في جامعة برينستون الطرق التي استخدمها الشيوعيون السوفيت لاستخلاص الاعترافات من السجناء السياسيين، بما في ذلك العزل الانفرادي والحرمان الحسي. تم تثبيت المتطوعين الطلاب في غرف مظلمة معزولة صوتيًا أو تعليقهم في غرف مظلمة من الماء. في وقت قصير، عانوا من هلوسات بصرية وسمعية ولمسية، وأنماط تفكير غير مترابطة، وقابلية شديدة للتأثر، وتدهور في الأداء الفكري، وأحيانًا خوف مرضي أو ذعر. تُرى تأثيرات مماثلة في بعض مرضى الحروق الذين يتم تثبيتهم وتضميدهم بشكل مكثف)بما في ذلك العينان(وبالتالي يعانون من نقص طويل الأمد في المدخلات الحسية. المرضى المتصلون بأجهزة دعم الحياة والمحتجزون تحت خيام الأكسجين أحيانًا يصابون بالهذيان. المدخلات الحسية ضرورية لسلامة الشخصية والوظيفة الفكرية.

علاوة على ذلك، فإن الكثير من المعلومات التي تنقلها أعضاء الحواس لا تصل إلى وعينا — مثل ضغط الدم، ودرجة حرارة الجسم، وتوتر العضلات، على سبيل المثال.
ومع ذلك، من خلال مراقبة هذه الحالات، تبدأ أعضاء الحواس ردود فعل جسدية وحشوية لا غنى عنها للحفاظ على التوازن الداخلي وللبقاء على قيد الحياة في بيئة متغيرة باستمرار وتحديات مستمرة.

المستقبل الحسي هو أي هيكل متخصص في اكتشاف منبه. بعض المستقبلات بسيطة، نهايات عصبية عارية، مثل المستقبلات الخاصة بالحرارة والألم، في حين أن البعض الآخر هي أعضاء حسية حقيقية. عضو الحس هو هيكل يجمع بين النسيج العصبي وأنسجة أخرى تعزز استجابته لنوع معين من المنبهات. قد تشمل الأنسجة المساعدة نسيجًا طلائيًا أو عضليًا أو ضامًا. يمكن أن تكون أعضاء الحس معقدة مثل العين والأذن أو دقيقة وبسيطة مثل شجيرة عصبية ملفوفة بقليل من النسيج الضام.

16.1أ الخصائص العامة للمستقبلات

الغرض الأساسي من أي مستقبل حسي هو التحويل، تحويل شكل من أشكال الطاقة إلى آخر—الضوء، الصوت، الحرارة، اللمس، الاهتزاز، أو أشكال أخرى من طاقة المنبه إلى إشارات عصبية.)أي جهاز يحول شكل طاقة إلى آخر هو محول—سواء كان عضو حس، محرك بنزين، أو مصباح كهربائي.(هناك مرحلتان في العملية الحسية—*الإحساس والإدراك*. الإحساس هو المرحلة التي يكتشف فيها المستقبل الحسي بيئته ويطور تغيرًا كهربائيًا محليًا صغيرًا يسمى جهد المستقبل. في كثير من الحالات، مثل حواسك اللمس والشم، تكون الخلية الحسية عصبونًا. إذا كان جهد المستقبل قويًا بما فيه الكفاية، يطلق العصبون دفعة من جهد الفعل، مولدًا إشارة عصبية إلى الجهاز العصبي المركزي. في حالات أخرى، مثل التذوق والسمع، لا تكون الخلية الحسية عصبونًا بل خلية طلائية. ومع ذلك، تحتوي على حويصلات تشابكية في قاعدتها؛ تطلق ناقلًا عصبيًا استجابةً لمنبه؛ وتحفز عصبونًا مجاورًا. ثم يولد ذلك العصبون إشارات إلى الجهاز العصبي المركزي.

ليست كل الإشارات الحسية تصل إلى الدماغ، ولكن عندما تصل، قد نختبر الإدراك—التجربة الواعية وتفسير المنبه. يبنى الإدراك على الأحاسيس، في حين أن ليس كل الأحاسيس تؤدي إلى الإدراك. في الواقع، معظم الإشارات الحسية التي تصل إلى الجهاز العصبي المركزي لا تنتج أي إدراك واعٍ على الإطلاق. يتم تصفية معظمها في جذع الدماغ قبل أن تصل إلى قشرة المخ، وهي وظيفة قيّمة تحمينا من الجنون بسبب عدد لا يحصى من المنبهات غير المهمة التي تكتشفها أجهزة الحواس.
تشمل الإشارات العصبية الأخرى وظائف لا تتطلب وعيًا واعيًا، مثل مراقبة درجة حموضة الدم ودرجة حرارة الجسم.
تنقل المستقبلات الحسية أربعة أنواع من المعلومات—*النوع، الموقع، الشدة، و المدة:*

1. النوع يشير إلى نوع المنبه أو الإدراك الذي ينتجه. الرؤية، السمع، والتذوق هي أمثلة على أنواع الحواس، وكذلك الفئات الفرعية مثل الأحمر أو الأزرق.

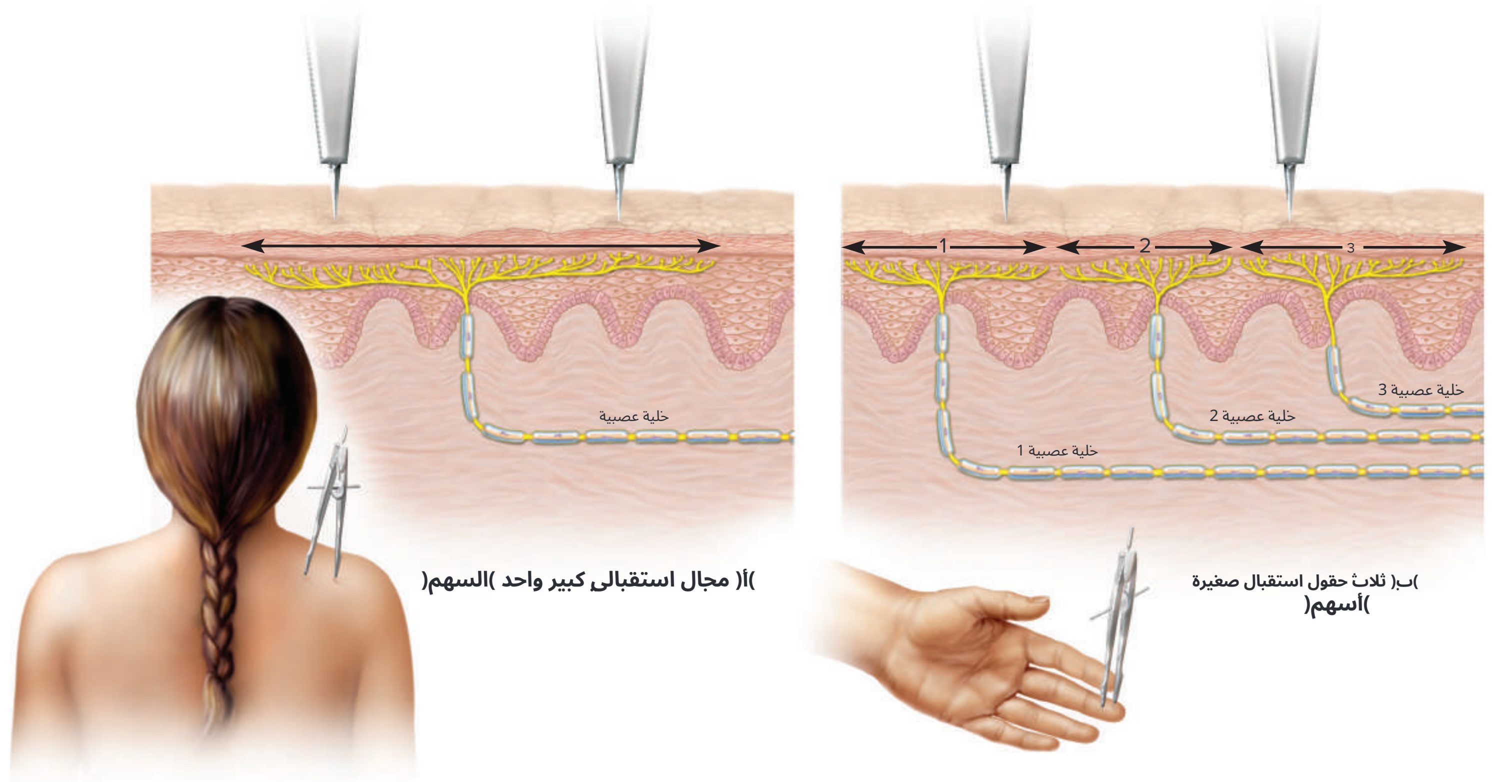
يمكن تخيل أهمية هذا فى قراءة بريل، وتقدير نسيج قماش فاخر، أو التلاعب بجسم صغير بحجم حبة سمسم. مفهوم المجال الاستقبالى لا يقتصر فقط على اللمس، بل يشمل أيضًا حواسًا أخرى مثل الرؤية.

3. الشدة تشير إلى ما إذا كان الصوت عالياً أو منخفضاً، أو الضوء ساطعاً أو خافتاً، أو الألم خفيفاً أو شديداً، وهكذا. يتم ترميزها بثلاث طرق:)أ(مع ارتفاع شدة المنبه، تزداد ترددات إطلاق الأعصاب الحسية)انظر الشكل 12.30(؛)ب(المنبهات الشديدة تستدعى عددًا أكبر من الخلايا العصبية للإطلاق؛ و)ح(المنبهات الضعيفة تنشط فقط أكثر الخلايا العصبية حساسية، فى حين أن المنبهات القوية يمكن أن تنشط مجموعة أقل حساسية من الخلايا العصبية ذات العتبات الأعلى. وهكذا، يمكن للدماغ التمييز بين الشدات بناءً على الخلايا العصبية التى تطلق الإشارات، وعددها، وسرعة إطلاقها.

4. المدة، أو مدة استمرار المنبه، يتم ترميزها من خلال التغيرات فى تردد الإطلاق مع مرور الوقت. جميع المستقبلات تظهر خاصية التكيف الحسى — إذا استمر المنبه لفترة طويلة، يصبح إطلاق الخلايا العصبية أبطأ مع الوقت، ومعه نصبح أقل وعيًا بالمنبه. التكيف مع ماء الحمام الساخن هو مثال على ذلك. تُصنف المستقبلات حسب سرعة تكيفها. المستقبلات الطورية تولد دفعة من جهد الفعل عند تحفيزها لأول مرة، ثم تتكيف بسرعة وتقلل أو توقف الإشارة حتى لو استمر المنبه. بعض منها يطلق الإشارات مرة أخرى عند توقف المنبه. توجد المستقبلات الطورية فى حواس الشم، حركة الشعر، والضغط والاهتزاز الجلدى.

الضوء، الأصوات المنخفضة أو العالية. إمكانات العمل للرؤية مطابقة لإمكانات العمل للذوق أو أى نوع آخر من الحواس — فكيف يمكن للدماغ التمييز بين إشارة بصرية وإشارة ذوق؟ يتم تحديد نوع الحاسة حسب المكان الذى تنتهى فيه الإشارات الحسية فى الدماغ. افتراضيًا، إذا استطعنا إعادة توصيل الدماغ بحيث توجه الإشارات من الأذن إلى القشرة البصرية فى الفص القذالى، فسندرك الإشارات الصوتية كضوء بدلاً من صوت.

2. الموقع يُرمز إليه أيضًا حسب الخلايا العصبية التى تصدر الإشارات إلى الدماغ. يكتشف أى عصبون حسى المحفزات ضمن منطقة تسمى الحقل الاستقبالى. فى حاسة اللمس، على سبيل المثال، قد يغطى عصبون حسى واحد منطقة من الجلد تصل إلى 7 سم فى القطر. بغض النظر عن مكان لمس الجلد داخل هذا الحقل، فإنه يحفز نفس العصبون. قد لا يستطيع الدماغ تحديد ما إذا تم لمس الجلد عند "النقطة أ" أو عند نقطة أخرى تبعد 1 أو 2 سم. إذا تم لمس الجلد فى مكانين فى نفس الحقل فى نفس الوقت، قد يشعر كأنه لمسة واحدة)الشكل 16.1أ(. فى بعض مناطق الجسم مثل الظهر، هذا كافٍ؛ فلا حاجة لإجراء تمييزات أدق. من ناحية أخرى، يجب أن نتمكن من تحديد موقع اللمس بدقة أكبر بكثير عند أطراف الأصابع. هنا، قد يغطى كل عصبون حسى حقلًا استقباليًا قطره 1 مم أو أقل — هناك كثافة أعلى بكثير من النهايات العصبية اللمسية. نقطتا اتصال تبعدان 2 مم فقط سيتم الشعور بهما كلمستين منفصلتين)الشكل 16.1ب(. أى أن أطراف الأصابع لديها تمييز *تمييز اللمس بنقطتين* أفضل من جلد الظهر. أنت



الشكل 16.1 حقول الاستقبال.)أ(عصبون ذو حقل استقبال كبير، كما هو موجود فى جلد الظهر. إذا تم لمس الجلد فى مكانين قريبين ضمن هذا الحقل الاستقبالى، يشعر الدماغ بأنها نقطة اتصال واحدة فقط.)ب(عصبونات ذات حقول استقبال صغيرة، كما هو موجود فى أطراف الأصابع. من المحتمل أن تحفز نقطتا اتصال قريبتان هنا عصبونين مختلفين ويشعر بهما كلمستين منفصلتين.

إذا كان حقل الاستقبال فى الجزء)أ(قطره 7 سم، هل من الممكن أن يشعر بلمستين تفصل بينهما 1 سم بشكل منفصل؟

الموقع. مستقبلاتهم بسيطة نسبيًا—أحيانًا لا تكون أكثر من شجيرة عارية.

- الحواس الخاصة محدودة فى الرأس، تُعصب بواسطة الأعصاب القحفية، وتستخدم أعضاء حسية معقدة نسبيًا. الحواس الخاصة هى الرؤية، السمع، التوازن، التذوق، والشم.

بل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

1. ليس كل مستقبل حسى هو عضو حسى. اشرح.
2. ماذا يعنى القول بأن أعضاء الحواس هى محولات طاقة؟ ما هو شكل الطاقة الذى تخرجه جميع المستقبلات؟
3. ليس كل إشارة حسية تؤدى إلى إدراك واعٍ للمثير. اشرح.
4. ماذا يعنى نوعية المثير؟ أعطِ بعض الأمثلة.
5. تم تقديم ثلاث مخططات لتصنيف المستقبلات فى هذا القسم. فى كل مخطط، كيف تصنف مستقبلات المثانة الممتلئة؟ كيف تصنف مستقبلات التذوق؟
6. مستقبلات الألم هى مستقبلات مستمرة)تونيك(وليست مستقبلات متقطعة)فاسيك(. تخمين لماذا يكون هذا مفيدًا للحفاظ على التوازن الداخلى)الاستتباب(.

الحواس العامة 16.2

نتائج التعلم المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. يعدد عدة أنواع من مستقبلات الإحساس الجسدى؛

ب. يصف مسارات الإسقاط للحواس العامة؛ و

ج. يصف أنواع وآليات الألم، ويشرح كيف يقوم الدماغ بتعديل حساسية الفرد تجاه الألم.

مستقبلات الحواس العامة بسيطة نسبيًا فى التركيب والفسيولوجيا. تتكون من نهاية عصبية حسية واحدة أو قليلة، وعادةً كمية قليلة من النسيج الضام. تُظهر هذه المستقبلات فى الشكل 16.2 وتُوصف فى الجدول 16.1.

16.2أ النهايات العصبية غير المغلفة

النهايات العصبية غير المغلفة هى زوائد شجرية)دندريتات(بدون غلاف نسيج ضام. وتشمل ما يلى:

- النهايات العصبية الحرة تشمل *مستقبلات الحرارة*، التى تستجيب لارتفاع درجة الحرارة؛ *مستقبلات البرودة*، التى تستجيب لانخفاض درجة الحرارة؛ و *مستقبلات الألم)النوسيسبتورات(* للألم. هى زوائد شجرية عارية لا ترتبط بشكل خاص بخلايا أو أنسجة مساعدة محددة. وهى الأكثر وفرة فى الجلد والأغشية المخاطية. يمكنك تحديد بعض مستقبلات البرودة لديك عن طريق اللمس بلطف

طبيعتهم الطورية تفسر لماذا قد نلاحظ رائحة مشبوهة مثل تسرب الغاز لعدة ثوانٍ، ثم يتلاشى الإحساس بشدة حتى لو ظل المنبه موجودًا. إذا لم نعثر على تسرب الغاز بسرعة، يصبح من الصعب العثور عليه على الإطلاق. المستقبلات التوترية تتكيف بشكل أبطأ وتولد إشارات بشكل أكثر استقرارًا. المستقبلات الحسية الذاتية ومستقبلات الألم من بين المستقبلات التوترية التى تستجيب باستمرار لأن الدماغ يجب أن يكون دائمًا على وعى بوضع الجسم، توتر العضلات، حركة المفاصل، أو الألم.

طبق ما تعرفه

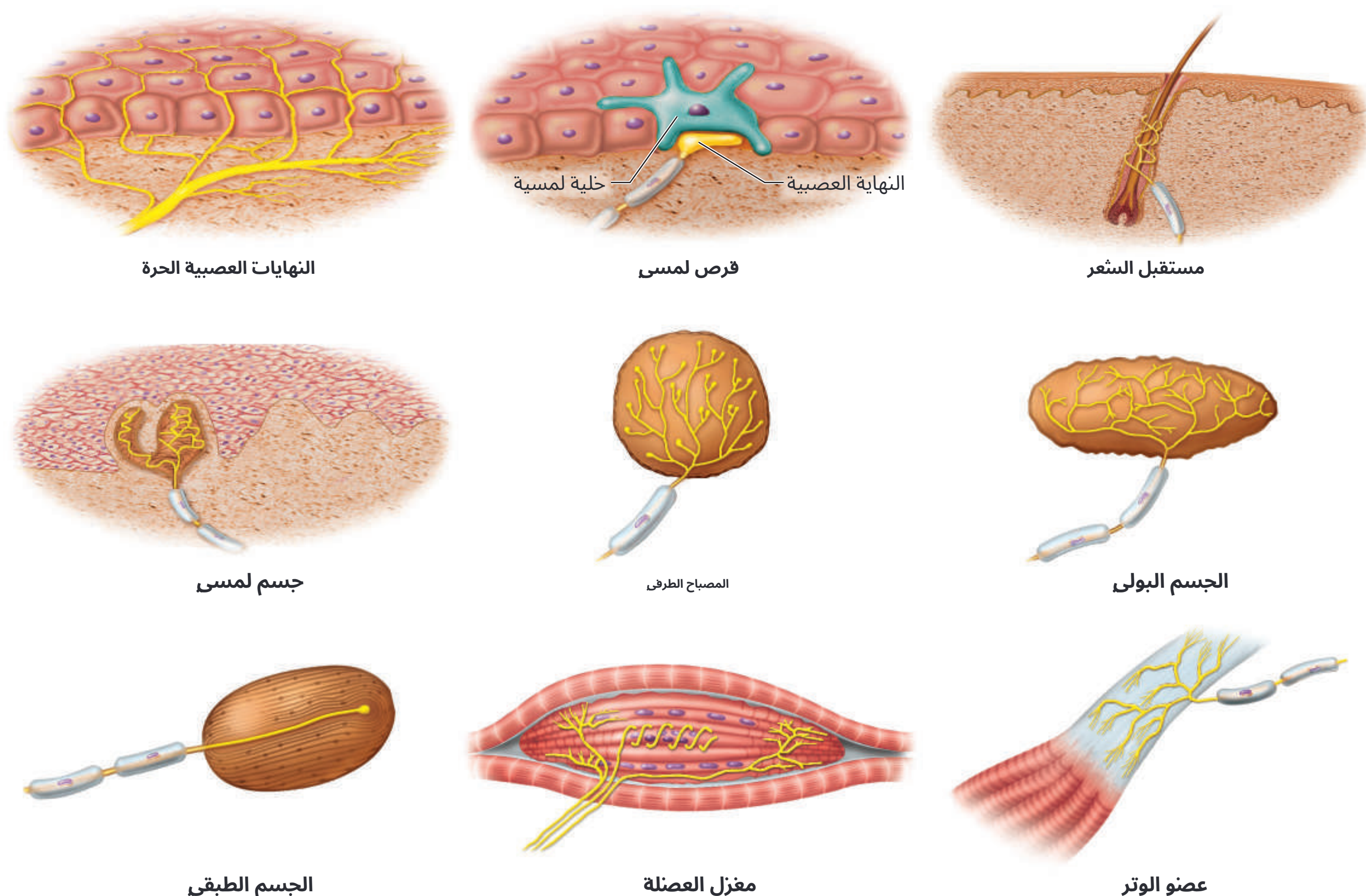
على الرغم من أنك قد تجد صعوبة فى الانغماس فى حوض ماء ساخن أو بحيرة باردة، إلا أنك تتكيف بسرعة وتصبح أكثر راحة. فى ضوء ذلك، هل تعتقد أن المستقبلات الباردة والدافئة طورية أم توترية؟ اشرح.

16.1ب تصنيف المستقبلات

يمكن تصنيف المستقبلات بواسطة أنظمة متداخلة متنوعة:

1. حسب نوع المنبه:
   - مستقبلات الحرارة تستجيب للحرارة والبرودة. العديد من النهايات العصبية فى الجلد هى مستقبلات حرارة.
   - مستقبلات الضوء، العينان، تستجيبان للضوء.
   - مستقبلات الألم[1]، مستقبلات الألم، تستجيب لإصابة الأنسجة أو الحالات التى تهدد بإلحاق الضرر بالأنسجة. مستقبلات الألم منتشرة بكثرة فى الجلد والأغشية المخاطية.
   - مستقبلات الكيمياء تستجيب للمواد الكيميائية، بما فى ذلك الروائح، النكهات، وتركيب سوائل الجسم.
   - مستقبلات الميكانيكا تستجيب للتشوه الفيزيائى للخلية أو النسيج الناتج عن الاهتزاز، اللمس، الضغط، التمدد، أو التوتر. وتشمل أعضاء السمع والتوازن والعديد من المستقبلات فى الجلد، الأحشاء، والمفاصل.
2. حسب مصدر المنبه:
   - مستقبلات خارجية تستشعر المنبهات الخارجية للجسم. و تشمل المستقبلات الخاصة بالرؤية، السمع، التذوق، الشم، والحواس الجلدية مثل اللمس، الحرارة، البرودة، والألم.
   - مستقبلات داخلية تكشف المنبهات فى الأعضاء الداخلية مثل المعدة، الأمعاء، والمثانة، وتنتج إحساسات بالتمدد، الضغط، ألم الأحشاء، والغثيان.
   - مستقبلات الوضعية تستشعر وضع وحركات الجسم أو أجزائه. توجد فى العضلات، الأوتار، وأغلفة المفاصل.
3. حسب توزيع المستقبلات فى الجسم. هناك فئتان واسعتان من الحواس:
   - الحواس العامة)الحسية الجسدية، الحسية الجسدية العميقة(تستخدم مستقبلات موزعة على نطاق واسع فى الجلد والعضلات والأوتار والمفاصل والأحشاء. وتشمل هذه اللمس والضغط والتمدد والحرارة والبرودة والألم، بالإضافة إلى العديد من المحفزات التى لا ندركها بوعى، مثل ضغط الدم و...

[1] الألم = الألم



الشكل 16.2 مستقبلات الحواس العامة. انظر الجدول 16.1 للوظائف.

الجدول 16.1	مستقبلات الحواس العامة	
نوع المستقبل	**المواقع**	النوع الحسى
النهايات غير المغلفة		
النهايات العصبية الحرة	منتشرة على نطاق واسع، خاصة فى الطهارة والأنسجة ال صامة	الألم، الحرارة، البرودة
أقراص لمسية	الطبقة القاعدية من البشرة	اللمس الخفيف، الضغط
مستقبلات الشعر	حول بصيلات الشعر	لمس خفيف، حركة الشعر
نهايات الأعصاب المغلفة		
جسيمات اللمس	حلمات الجلد لأطراف الأصابع، راحتى اليدين، الجفون، الشفاه، اللسان، الحلمات، والأعضاء التناسلية	لمس خفيف، نسيج
بصيلات النهايات	الأغشية المخاطية	مماثلة لجسيمات اللمس
جسمات بلبوسية	الأدمة، النسيج تحت الجلد، وأغلفة المفاصل	لمس أو ضغط مستمر وثقيل؛ حركات المفاصل
جسمات صفائحية	الأدمة، أغلفة المفاصل، السمحاق، الثديين، الأعضا ء التناسلية، وبعض الأحشاء	ضغط عميق، تمدد، دغدغة، اهتزاز
مغازل العضلات	العضلات الهيكلية بالقرب من الوتر	تمدد العضلات)الإحساس بالموضع(
أعضاء الأوتار	الأوتار	التوتر على الأوتار)الإحساس الحس الذاتى(

النسيج تحت الجلد، وكبسولات المفاصل. تربط الأنسجة تحت
الجلد بطيات الجلد فى المفاصل وراحتى اليد وتحت الأظافر.

- الجسيمات الطبقية)جسيمات باسينى[6](هى مستقبلات طورية بش
كل رئيسى للاهتزاز والضغط. وهى مستقبلات بيضاوية كبيرة، يصل
طولها إلى 1 أو 2 ملم، توجد فى السمحاق العظمى؛ فى كبسولات
المفاصل؛ فى البنكرياس وبعض الأحشاء الأخرى؛ وعميقًا فى الأدمة
، خاصة فى اليدين والقدمين والثديين والأعضاء التناسلية.
تتكون من شجيرة عصبية واحدة تمر عبر نواة العضو، محاطة ب
طبقات متحدة المركز متعددة من الخلايا.
الطبقات الداخلية للكبسولة هى خلايا شوان مسطحة، لكن الجزء
الأكبر من الكبسولة يتكون من طبقات متحدة المركز من الأروما
ت الليفية مع فراغات ضيقة مملوءة بالسائل بينها. فى المقط
ع العرضى، يشبه الجسم الصفائحى شريحة بصل مع نقطة، و
هى الشجيرة العصبية، فى الوسط. الأجسام الصفائحية هى م
ستقبلات طورية تستجيب بواحد أو اثنين من جهد الفعل
عند تطبيق الضغط عليها ومرة أخرى عند إزالة الضغط، ولكن
ليس بينهما. عادةً ما يُعتبر أنها تعمل كمستقبلات للاهتزاز، تُح
فز بأفعال مثل تمرير الأصابع على سطح ما. تعزز نتوءات الاح
تكاك فى أطراف الأصابع الاهتزاز وحساسية الأجسام الصفائحى
ة. فى القدمين، تساهم فى حساسية الضغط فى باطن القدم وأ
صابع القدم، وهو أمر مهم فى القدرة على المشى والجرى والح
فاظ على التوازن. توفر الأظافر مقاومة على الجانب العلوى من
الأصابع تعزز حساسية الأجسام الصفائحية على الجانب الس
فلى.

النهايات العصبية المغلفة الأخرى فى الشكل 16.2 — المغازل العض
لية وأعضاء الأوتار — قد تم مناقشتها بالفعل فيما يتعلق بردود الفعل
العضلية فى القسم 13.3.

16.2ح مسارات الإسقاط الحسى الجسدى

الإسقاط الحسى هو نقل المعلومات من مستقبل، أو مجال استقبال،
إلى موقع محدد فى القشرة الدماغية، مما يمكّن الدماغ من اكتشاف
وتحديد المنبه. يمكن أن يكون الأصل المحدد منطقة صغيرة ومحددة
داخل المستقبل، مثل منطقة صغيرة من الشبكية أو الجلد. المسارات
التى تتبعها الإشارات الحسية إلى وجهاتها النهائية فى الجهاز العصبى
المركزى تُسمى مسارات الإسقاط. من المستقبل إلى الوجهة النهائية
فى الدماغ، تسافر معظم الإشارات الحسية الجسدية عبر ثلاث خلايا ع
صبية تُسمى الخلايا العصبية من الدرجة الأولى والثانية والثالثة. تُسم
ى محاورها العصبية ألياف الأعصاب من الدرجة الأولى إلى الثالثة. الأ
لياف من الدرجة الأولى للمس والضغط والإدراك الحسى الذاتى كبيرة
، مغطاة بالميلين، وسريعة؛ أما تلك الخاصة بالحرارة والبرودة فهى
صغيرة، غير مغطاة بالميلين أو مغطاة بشكل خفيف، وأبطأ.

تنتقل الإشارات الحسية الجسدية من الرأس، مثل الحواس الوجهى
ة، عبر عدة أعصاب قحفية)وخاصة العصب القحفى الخامس، العصب ا
لثلاثى التوائم(إلى الجسر والنخاع المستطيل. فى جذع الدماغ، تتشابك أ
لياف الدرجة الأولى لهذه الخلايا العصبية مع الخلايا العصبية من الدرجة
الثانية التى تعبر إلى الجانب المقابل وتصل إلى المهاد المقابل.
تُكمل الخلايا العصبية من الدرجة الثالثة بعد ذلك مسار الإسقاط إلى ا
لمخ. الإشارات الحسية الذاتية من الرأس هى استثناء، حيث تحمل الأ
لياف من الدرجة الثانية هذه الإشارات إلى المخيخ.
أسفل الرأس، تدخل ألياف الدرجة الأولى القرن الخلفى للحبل الشو
كى. تصعد الإشارات فى الحبل الشوكى عبر المسار الشوكى المهادى و

[6]فيليبو باسينى)1812–1883(، عالم التشريح الإيطالى

لمس جلدك بنقطة قلم رصاص جرافيت، الذى ينقل الحرارة
بعيدًا عن الجلد. فى الأماكن التى توجد فيها هذه المستقبلات،
يُشعر بذلك على أنه تبريد للجلد.

- أقراص اللمس)ميركل[2](هى مستقبلات مستمرة للمس الخ
فيف، يُعتقد أنها تستشعر القوام والحواف والأشكال. وهى نها
يات عصبية مسطحة تنتهى بجانب خلايا لمسية متخصصة
فى الطبقة القاعدية من البشرة. تستجيب لضغط الجلد، مما يط
لق مادة كيميائية من الخلية اللمسية تُحفز العصب المرتبط.

- مستقبلات الشعر)ضفائر جذر الشعر(هى زوائد شجرية تلف
حول بصيلة الشعر وتستجيب لحركات الشعر.
تُحفز عندما، على سبيل المثال، يمشى نملة على الجلد، مما ى
ثنى شعرة تلو الأخرى. ومع ذلك، فهى تتكيف بسرعة، لذلك
لا نشعر باستمرار بإزعاج من احتكاك الملابس بالجلد. مستق
بلات الشعر مهمة بشكل خاص فى الرموش، حيث يثير أقل
لمس رد فعل وميض وقائى.

16.2ب النهايات العصبية المغلفة

النهايات العصبية المغلفة هى ألياف عصبية ملفوفة بخلايا دبقية أو ن
سيج ضام. معظمها مستقبلات ميكانيكية \اللمس، الضغط، والتمدد.
يقوم النسيج الضام إما بزيادة حساسية الليف العصبى أو يجعله أكثر ا
نتقائية بالنسبة لنوع المنبه الذى يستجيب له. النهايات العصبية المغ
لفة الرئيسية هى كما يلى:

- جسيمات اللمس)ميسنر[3](هى مستقبلات طورية للمس
الخفيف والملمس. هى طويلة، بيضاوية إلى شكل كمثرى، و
تتكون من اثنين أو ثلاثة ألياف عصبية تتعرج صعودًا عبر كبسو
لة مملوءة بالسائل من خلايا شوان المسطحة. ترتبط ميكان
يكيًا بحواف حلمات الجلد. تتركز جسيمات اللمس بشكل خاص
فى المناطق الحساسة الخالية من الشعر مثل أطراف الأصابع
، راحتى اليد، الجفون، الشفاه، الحلمات، والأعضاء التناسلية.

مرر طفرك بلطف عبر ظهر يدك، ثم عبر راحة يدك. الفرق الذى
تشعر به يرجع إلى التركيز العالى لجسيمات اللمس فى جلد راحة
اليد. تمكنك جسيمات اللمس من التمييز بين الحرير والورق ا
لخشن، على سبيل المثال، من خلال اللمسات الخفيفة بأطرا
ف أصابعك.

- البصيلات النهائية)بصيلات كراوزه[4](وظيفيًا مشابهة لجسيما
ت اللمس، ولكن بدلاً من وجودها فى الجلد، توجد فى الأغش
ية المخاطية للشفاه واللسان، فى الملتحمة على السطح الأمامى
للعين، وفى الإبينوريم للأعصاب الكبيرة. هى أجسام بيضاوية
تتكون من غمد نسيج ضام حول ليف عصبى حسى.

- جسيمات البصلية)روفينى[5](هى مستقبلات ثابتة للمس الثقيل
، الضغط، تمدد الجلد، تشوه الأظافر، وحركات المفاصل. ت
ساعدنا فى إدراك أشكال الأشياء التى تُمسك بالأصابع. هى كب
سولات مسطحة ومطولة تحتوى على بعض المحاور العصبية
الميالينية فى كبسولة ليفية غير مكتملة. تقع فى الطبقة الديرم
ية،

[2]فريدريس إس. ميركل)1845–1919(، عالم تشريح وعالم وظائف أعضاء ألمانى
[3]جورج ميسنر)1829–1905(، عالم أنسجة ألمانى
[4]فيلهلم ح. ف. كراوزه)1833–1910(، عالم تشريح ألمانى
[5]فيليبو روفينى)1812–83(، عالم تشريح إيطالى

الألم العصبى ينشأ من إصابات فى الأعصاب، الحبل الشوكى، ا
لأغشية الدماغية، أو الدماغ. غالبًا ما يُشعر به كإحساس طعن، حرقان،
وخز، أو شعور "كهربائى". تشمل الأمثلة الصداع؛ ألم الطرف الوهمى؛
الألم العضلى الليفى؛ وألم التصلب المتعدد، الألم العصبى التالى للهر
بس)انظر التعمق 13.3(، والسرطان)نتيجة غزو الورم للأعصاب أو ال
تأثيرات السامة للأعصاب للعلاج الكيميائى(.

نوعان من ألياف الأعصاب تنقل استجابات الألم وصفات الألم ا
لمتباينة تسمى الألم السريع و الألم البطىء. الألم السريع هو الألم ا
لحاد الفورى الذى يشعر به الإنسان من جرح، حرق، أو لسعة نحلة، عل
ى سبيل المثال. يتم نقله بواسطة ألياف الأعصاب الميالينية *A-delta*
(Aδ). هذه الألياف تنقل الإشارات بسرعات تتراوح بين 12 إلى 30 م/
ث، لذا يُشعر بالألم بسرعة عند الإصابة. هو شعور حاد، موضعى، وغا
لبًا ما يكون طعنًا. يوصف بأنه ألم تمييزى لأننا عادةً ما نستطيع تحد
يد مصدره بدقة. الألم البطىء ينشأ فى ألياف الأعصاب الصغيرة غير
الميالينية من النوع C التى تنقل الإشارات بسرعة تتراوح بين 0.5 إل
ى 2.0 م/ث فقط. له إحساس متأخر وأكثر حرقًا، وخدرًا، أو ألمًا مملًا،
ومن الصعب تحديد مصدر الألم بدقة. إذا ضربت ساقك على قطعة أ
ثاث، قد تشعر بكلا النوعين: ألم سريع حاد فورًا، ثم بعد بضع ثوانٍ، ألم
بطىء أكثر شدة ويدوم لفترة أطول.

مسارات الإسقاط للألم

من الصعب جدًا على الأطباء تحديد مصدر ألم المريض، لأن الألم ين
تقل عبر مسارات متنوعة ومعقدة ويمكن أن ينشأ الإحساس فى أى م
كان على طول الطريق. تصل إشارات الألم إلى الدماغ عبر مسارين رئي
سيين:

1. الإشارات من الرأس تنتقل إلى جذع الدماغ عبر أربعة أعصاب قحفية
: بشكل رئيسى العصب الثلاثى التوائم)CN V(، وأيضًا العصب الو
جهى)CN VII(، العصب البلعومى اللسانى)CN IX(، والعصب الم
بهم)CN X(. تدخل ألياف العصب الثلاثى التوائم إلى الجسر وتنزل
إلى نقاط التشابك فى النخاع المستطيل. ألياف الألم للأعصاب ال
قحفية الثلاثة الأخرى تتجه مباشرة إلى النخاع المستطيل. تنشأ الخ
لايا العصبية من الدرجة الثانية فى النخاع المستطيل وتصعد إلى الم
هاد، الذى ينقل الرسالة إلى قشرة المخ، كما سيُفصل لاحقًا.
2. إشارات الألم من الرقبة وما تحتها تنتقل عبر ثلاثة مسار
ات صاعدة فى الحبل الشوكى: المسار الشوكى المهادى، ال
مسار الشوكى الشبكى، والحزمة الرقيقة)الشكل 16.3; انظر أ
يضًا الشكل 13.6(. يحمل المسار الشوكى المهادى معظم إشارا
ت الألم الجسدى التى تصل فى النهاية إلى القشرة وتجعلنا ندر
ك الألم. ينقل المسار الشوكى الشبكى الإشارات إلى التكوين
الشبكى فى جذع الدماغ، وهذه تُنقل فى النهاية إلى الوطاء وال
جهاز الحوفى. هنا، تُفعّل ردود فعل داخلية وعاطفية وسلوك
ية مثل الغثيان، الخوف، وبعض المنعكسات. تنقل الحزمة الر
قيقة الإشارات إلى المهاد للألم الحشوى، مثل ألم مغص المعد
ة أو ألم مرور حصوة الكلى.

عندما يستقبل المهاد إشارات الألم من هذه المصادر، ينقل معظ
مها عبر الخلايا العصبية من الدرجة الثالثة إلى وجهتها النهائية فى ال
تلافيف بعد المركزية فى المخ. هذا هو موقع إدراك الألم التمييزى—
تحديد موقع الإصابة وجودة وشدة الإحساس. الجزء المحدد من هذا ا
لتلافيف الذى يستقبل الإشارات يعتمد على مكان نشوء الألم، كما هو
موضح بمفهوم التماثل الجسدى فى القسم 14.5f)انظر الشكل 14.2
1(. معظم هذا التلافيف هو حسى جسدى. ومع ذلك، فإن منطقة من
التلافيف تقع عميقًا داخل الأخدود الجانبى للدماغ هى منطقة حسية
حشوية، تستقبل الإشارات الحشوية التى تنقلها

المسارات الأخرى المفصلة فى الجدول 13.1 والشكل 13.6. هذه الم
سارات تتقاطع إما عند أو بالقرب من نقطة الدخول إلى الحبل الشوك
ى، أو فى جذع الدماغ، لذا فإن القشرة الجسدية الحسية الأولية فى كل
نصف كرة دماغية تستقبل إشارات من الجانب المقابل للجسم.

الإشارات الخاصة بالإحساس بالموضع)الإدراك الحسى الذاتى(أسفل ا
لرأس تنتقل عبر المسارات الشوكية المخيخية إلى المخيخ. الإشارات القادمة
من الأحشاء الصدرية والبطنية تنتقل إلى النخاع المستطيل عبر ألياف حسية
فى العصب المبهم)العصب القحفى العاشر CN X(. إشارات الألم الحشوى
تصعد أيضًا فى الحبل الشوكى عبر الحزمة الرقيقة.

16.2د الألم

من الناحية السريرية، يمكن القول إن الإحساس بالألم يستحق أكبر قد
ر من الاهتمام بين جميع الحواس التى نغطيها فى هذا الفصل، لأنه ا
لسبب الأول الذى يدفع الناس لطلب الرعاية الطبية. كما أنه واحد من
أصعب المشاكل التى يمكن علاجها.

يمكن تعريف الألم على أنه إدراك غير سار لضرر فعلى أو محتمل
فى الأنسجة. إنه ليس مرضًا بحد ذاته، بل عرض لحالة كامنة. وظيفته
هى تحفيز الشخص على تجنب أو تقليل أو الهروب من الخطر — على
سبيل المثال، بتفضيل كاحل ملتوى، أو سحب اليد من حرق، أو تجن
ب الأشياء التى سببت الألم فى الماضى. قليل منا يستمتع بالألم وقد
نتمنى لو لم يكن موجودًا، لكنه إحساس تكيفى وضرورى — كنا سنكو
ن فى وضع أسوأ بكثير بدونه. نرى دليلًا على ذلك فى أمراض مثل الح
ذام وداء السكرى، حيث يمكن أن يؤدى تلف الأعصاب)الاعتلال الع
صبى المحيطى(إلى تخدير الإحساس بالألم وجعل الشخص غير مدر
ك للإصابات الطفيفة أو غير مبالٍ بها. الإهمال الناتج يمكن أن يسمح
للإصابات بأن تصبح غنغرينية ويكلف الناس أصابعهم أو أصابع أقدامه
م أو أقدامهم أو أطرافهم بالكامل.

أنواع الألم

هناك فئتان سريريتان من الألم — الألم الناتج عن المنبهات الضارة)nocicept
ive(والألم العصبى)neuropathic(. الألم الناتج عن المنبهات ا
لضارة ينشأ من إصابة الأنسجة مثل الجروح والحروق والتهيج الكيميائى، ويتم ا
كتشافه بواسطة النهايات العصبية المسماة مستقبلات الألم)nociceptors(.
هذه المستقبلات وفيرة بشكل خاص فى الجلد والأغشية المخاطية وتتواجد فى
معظم الأعضاء، رغم عدم وجودها فى الدماغ أو الكبد. فى بعض جراحات الدماغ
، يجب أن يكون المريض واعيًا وقادرًا على التحدث مع الجراح؛ مثل هؤلاء المر
ضى يحتاجون فقط إلى تخدير موضعى. مع ذلك، توجد مستقبلات الألم فى ال
سحايا، وتلعب دورًا مهمًا فى الصداع. الألم الناتج عن المنبهات الضارة مرتبط
بالتهاب الأنسجة ويستجيب للأدوية المضادة للالتهاب مثل الأسبرين، الإيبوبرو
فين، والنابروكسين.

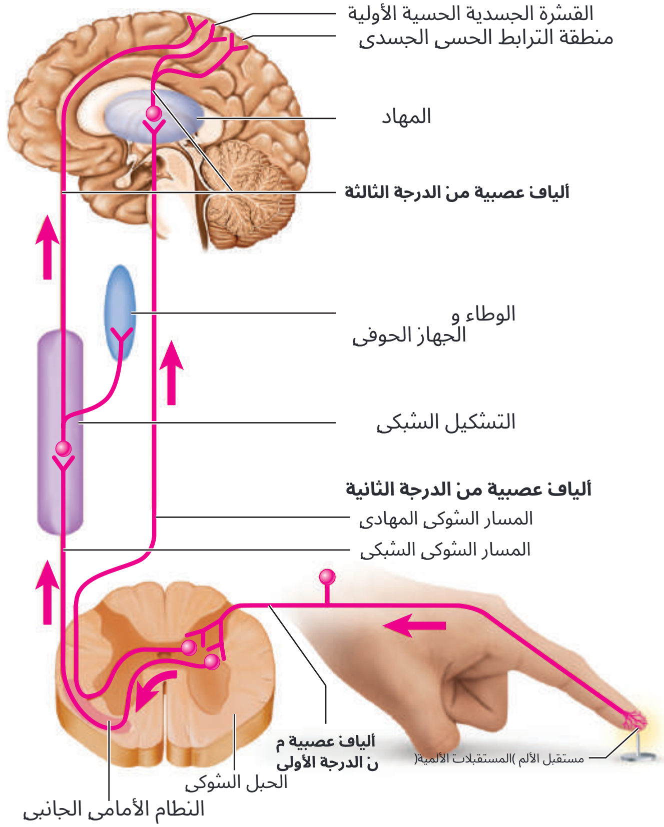
ينقسم الألم الناتج عن المنبهات الضارة إلى ثلاثة أنواع حسب المصدر:

1. الألم الحشوى، الذى ينشأ من الأعضاء الداخلية فى تجاويف الج
سم. هذا النوع من الألم diffuse)منتشر(، باهت، وصعب ا
لتحديد. من أسبابه التمدد)مثل المثانة أو المعدة الممتلئة جدًا
(، التهيج الكيميائى)كما فى تقلصات الأمعاء والارتجاع الح
مضى(، ونقص التروية)نقص تدفق الدم، كما فى النوبات القلبي
ة وتقلصات الحيض(. غالبًا ما يرتبط بمشاعر الضغط، التشنج، و
الغثيان.
2. الألم الجسدى العميق،الذى ينشأ من العظام والمفاصل والع
ضلات والمصادر ذات الصلة. تشمل الأمثلة ألم التهاب ال
مفاصل، والالتواءات، وكسور العظام. غالبًا ما ينتج عن تمدد
مفرط)كما فى التواء الكاحل أو شد العضلة(، لكنه قد يكون له
أسباب أخرى.
3. الألم الجسدى السطحى، الذى ينشأ عادةً من الجلد.
تشمل الأمثلة ألم الجروح، الحروق، ولدغات الحشرات.

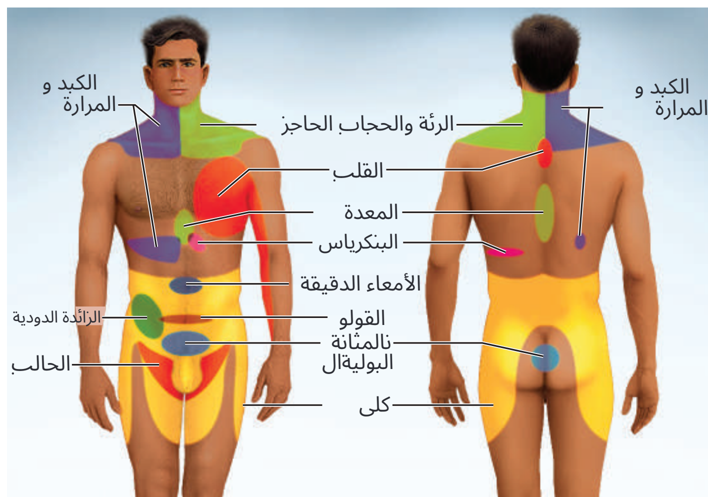
الحزمة الرقيقة. تسجل الجوانب العاطفية للألم فى الوطاء والقشرة الجبهية الأمامية، والجهاز الحوفى، والجزيرة، والتلفيف الحزامى الأمامى للمخ)انظر الأشكال ٦١.٤١، ٧١.٤١(.
غالبًا ما يُعتقد خطأً أن الألم فى الأحشاء يأتى من الجلد أو مواقع سطحية أخرى — على سبيل المثال، يُشعر بألم النوبة القلبية "ينتشر" على طول الكتف الأيسر والجانب الوسيط للذراع)الشكل ٦١.٤(. هذه الظاهرة، التى تُسمى الألم المحال، تنجم عن تقارب المسارات العصبية فى الجهاز العصبى المركزى. فى حالة ألم القلب، على سبيل المثال، تستقبل فقرات الحبل الشوكى من T1 إلى T5 إشارات من القلب وكذلك من الصدر والذراع. تتقارب ألياف الألم من القلب والجلد فى هذه المنطقة وتتبع نفس المسار من هنا إلى المهاد والقشرة المخية.
لا يستطيع الدماغ التمييز من أى مصدر تأتى الإشارات الواردة. يتصرف كما لو أنه يفترض أنها على الأرجح من الجلد، لأن الجلد يحتوى على مستقبلات ألم أكثر من القلب ويتعرض للإصابة بشكل أكثر تكرارًا. معرفة مصادر الألم المحال مهمة لتشخيص خلل وظائف الأعضاء.

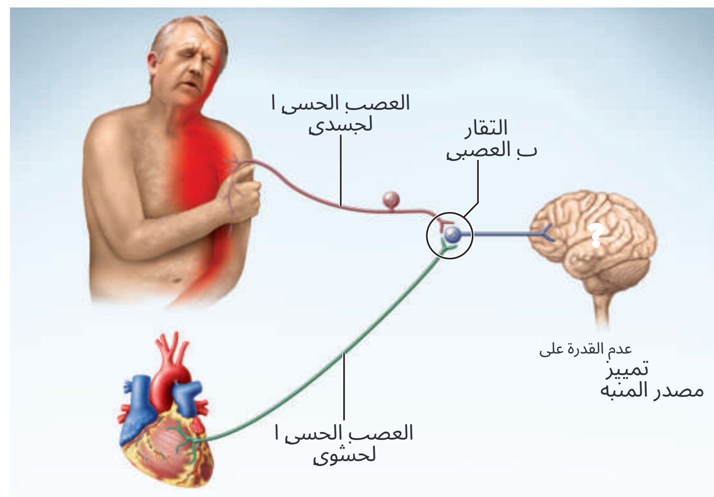
تعديل الجهاز العصبى المركزى للألم

بغض النظر عن التعبيرات مثل "ألم فى المفاصل" و"ألم العضلات"، يجب أن يُدرك أن الألم لا يوجد فى هذه المواقع الطرفية، بل فقط فى الدماغ؛ فهو إدراك واعٍ للإشارات القادمة من أعضاء أخرى. بسبب ذلك، فهو ذاتى، ومتغير للغاية، ويتأثر بالحالة الجسدية والعقلية للفرد — على سبيل المثال، توقع الشخص للألم، والتركيز عليه، أو على العكس، تحقيق تخفيف الألم من خلال تحويل الانتباه إلى مشتتات. لهذا السبب، فإن تقنيات مثل الوخز بالإبر، والتأمل، والتنويم المغناطيسى، العقاقير الوهمية، العلاج بالتمارين، وولادة لاماز يمكن أن تقلل الألم بفعالية.
تُظهر بعض الأمثلة كيف ينشأ الألم من الإدراك المخى وليس من الأعضاء الطرفية. الألم العضلى الليفى هو متلازمة تتميز بألم أحيانًا شديد، بل معيق، يبدو أنه يأتى من العضلات أو العظام؛ ومع ذلك، فإن تلك الأعضاء البعيدة لا ترسل إشارات عصبية غير طبيعية إلى الدماغ. يكمن الألم بالكامل فى استجابات الدماغ غير الطبيعية للإشارات الواردة الطبيعية.



الشكل ٣.٦١ مسارات الإسقاط للألم. تنقل ألياف العصب من الدرجة الأولى إشارة الألم إلى القرن الخلفى للحبل الشوكى، وتنقل ألياف الدرجة الثانية الإشارة إلى المهاد، وتنقل ألياف الدرجة الثالثة الإشارة إلى القشرة المخية. تمر الإشارات من المسار الشوكى المهادى عبر المهاد. تتجاوز الإشارات من المسار الشوكى الشبكى المهاد فى طريقها إلى القشرة الحسية.





الشكل 16.4 الألم المحال.)أ(مناطق الألم المحال. الألم فى هذه المناطق من الجلد غالبًا ما يكون عرضًا لمشاكل فى الأحشاء المشار إليها.)ب(أساس الألم المحال فى نوبة قلبية.

إنكيفالينز.[8] تم اكتشاف ببتيدات عصبية مسكنة أكبر حجمًا، وهى الإ
ندورفينات9 و الدينورفينات[10] لاحقًا. تُعرف الثلاثة مجتمعة باسم الأ
فيونات الذاتية)أى "المواد الشبيهة بالأفيون المنتجة داخليًا"(.

تُفرز هذه الأفيونات بواسطة الجهاز العصبى المركزى، الغدة النخا
مية، الجهاز الهضمى، وأعضاء أخرى فى حالات التوتر أو التمرين. فى ا
لجهاز العصبى المركزى، توجد بشكل خاص فى المادة الرمادية المركز
ية فى الدماغ المتوسط)انظر الشكل 14.9أ(والقرن الخلفى للحبل ال
شوكى. هى *معدلات عصبية* يمكنها حجب انتقال إشارات الألم وإنتا
ج مشاعر المتعة والنشوة. يزداد إفرازها بشكل حاد عند النساء أثناء الو
لادة، وقد تكون مسؤولة حتى عن التقارير المذكورة من ساحات القتال
. ومع ذلك، كانت الجهود لاستخدامها فى علاج الألم مخيبة للآمال.

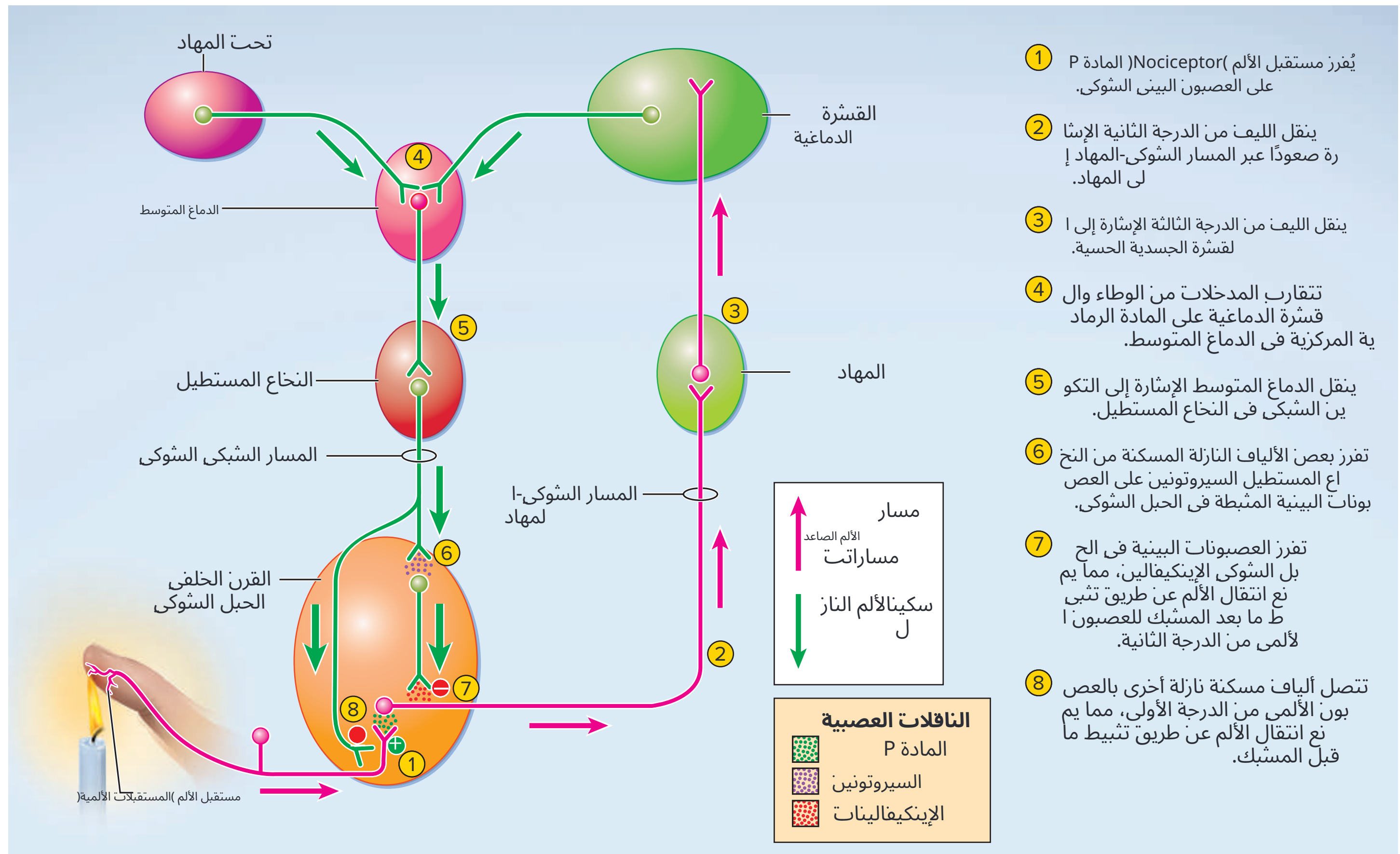
كيف تحجب هذه الأفيونات الألم؟ لكى يُدرك الألم، يجب أن تص
ل الإشارات من مستقبلات الألم)النوسيسبتورات(إلى ما بعد القرن ا
لخلفى للحبل الشوكى وتسافر إلى الدماغ. من خلال آليات تسمى التح
كم الشوكى فى الألم، يمكن إيقاف إشارات الألم عند القرن الخلفى.
يتم وصف اثنتين من هذه الآليات هنا.
إحدى هذه الآليات تشمل الألياف المسكنة النازلة — وهى ألياف
عصبية تنشأ فى جذع الدماغ، وتسير نزولًا عبر الحبل الشوكى فى الم
سار الشبكى الشوكى، وتحجب إشارات الألم من الوصول إلى الدماغ.
الشكل 16.5 يوضح إحدى الآليات البسيطة نسبيًا لـ

ألم الطرف الوهمى هو إدراك غريب للألم، أحيانًا يكون شديدًا، يأتى م
ن طرف فقد نتيجة إصابة أو بتر. غالبًا ما يصاحبه إحساسات غير مؤلم
ة بالطرف الوهمى مثل حجم ووزن الطرف المفقود؛ أو إحساسات بال
لمس، الحكة، التنميل، الضغط، الحرارة، أو البرودة؛ أو الوهم بأنه يمك
ن حتى التحكم فى الطرف. يمكن أن يحدث ألم الطرف الوهمى أيضًا ع
ندما تُزال أجزاء أخرى من الجسم، مثل بعد خلع سن أو استئصال الثد
ى. الآلية العصبية لألم الطرف الوهمى غير معروفة على وجه اليقين، و
لا تستجيب للأدوية التقليدية لمسكّنات الألم. قد يظن المرء أن قطع ا
لأعصاب أو حتى الحبل الشوكى على طول مسارات الألم قد يقضى ع
لى الألم، لكنه لا يفعل. على العكس من هذه الحالات، تُظهر إصابات
ساحات القتال بشكل لافت كيف يمكن للدماغ أن يكبت بقوة الوعى
بالألم الناتج عن إصابة شديدة — حيث أبلغ العديد من الجنود المصا
بين بجروح قاتلة عن ألم قليل أو معدوم حتى فى ساعة موتهم. لذا كما
قال أحد أطباء الأعصاب، فإن لعنة الألم تكمن أساسًا فى الدماغ.

الجهاز العصبى المركزى يمتلك آليات مسكنة للألم[7] مرتبطة بال
تأثيرات المسكنة المعروفة منذ زمن طويل للأفيون، المورفين، والهير
وين. فى عام 1974، اكتشف علماء الفيزيولوجيا العصبية مواقع مس
تقبلات لهذه الأدوية فى الدماغ. وبما أن هذه الأفيونات لا توجد طبيع
يًا فى الجسم، تساءل الفيزيولوجيون عن المادة التى ترتبط عادة بهذه ا
لمستقبلات. وسرعان ما وجدوا ببتيدات أوليغو مسكنة للألم بقوة تعاد
ل 200 ضعف المورفين، وأطلقوا عليها اسم

[7] *an* = بدون؛ *alges* = ألم

[8] تعنى = داخل؛ *kephal* = رأس
[9] اختصار لـ *المورفين الداخلى*
[10] *dyn* = ألم



الشكل 16.5 التحكم الشوكى فى إشارات الألم.

القرن الخلفي. يشير المسار الطبيعي لنقل الألم إلى الأسهم الحمراء والخطوات من 1 إلى 3:

1 يقوم مستقبل الألم (nociceptor) بتحفيز عصبون من الدرجة الثانية. الناقل العصبي في هذا المشبك يسمى المادة P (تذكر *P* لـ "الألم").[11]

2 ينقل العصبون من الدرجة الثانية الإشارات عبر المسار الشوكي-المهادي إلى المهاد.

3 ينقل المهاد الإشارات عبر عصبون من الدرجة الثالثة إلى القشرة الدماغية، حيث يصبح الإنسان واعياً بالألم.

يشير مسار تعديل الألم إلى الأسهم الخضراء النازلة والخطوات من ٤ إلى ٨:

4 تغذي الإشارات القادمة من الوطاء والقشرة الدماغية المادة الرمادية المركزية في الدماغ المتوسط، مما يسمح بتأثيرات تلقائية وواعية على إدراك الألم.

5 ينقل الدماغ المتوسط الإشارات إلى بعض النوى في التكوين الشبكي للنخاع المستطيل.

6 يصدر النخاع أليافًا مسكنة نازلة تفرز السيروتونين إلى الحبل الشوكي. تسير هذه الألياف في المسار الشبكي الشوكي وتنتهي في القرن الخلفي على جميع مستويات الحبل.

7 في القرن الخلفي، تتشابك بعض هذه الألياف المسكنة النازلة مع الخلايا العصبية الداخلية القصيرة في الحبل الشوكي، والتي بدورها تتشابك مع العصبون الثاني للألم. تفرز هذه الخلايا العصبية الداخلية الإينكيفالين لتثبيط العصبون الثاني. هذا مثال على التثبيط بعد المشبكي، الذي يعمل على الجانب الهابط من المشبك بين العصبون الأول والثاني للألم.

8 بعض الألياف من النخاع المستطيل تمارس أيضًا تثبيطًا قبل المشبكي، حيث تتشابك على محاور الأعصاب الخاصة بمستقبلات الألم وتمنع إفراز المادة P.

آلية أخرى للتحكم في الألم الشوكي هي التي قد تكون قد استخدمتها بوعي دون أن تعرف سبب فعاليتها. هل سبق وأن ضربت كوعك على حافة طاولة، أو حرقت نفسك على وعاء طهي ساخن، أو قرصت إصبعك في باب ووجدت أنه يمكنك تخفيف الألم عن طريق هز يدك و تدليك المنطقة المصابة؟
يعمل هذا لأن هز أو فرك المنطقة يحفز مستقبلات الميكانيكية في الجلد والأنسجة العميقة ويطلق إشارات في ألياف الأعصاب الكبيرة من النوع A المغلفة بالميلين. تؤدي هذه الإشارات إلى تنشيط الخلايا العصبية البينية المثبطة للألم في الحبل الشوكي، مثل تلك الموجودة في الخطوة 7، مما يحفزها على إفراز الإينكيفالين ويمنع إشارة الألم من الصعود إلى الدماغ.
كان لإدارة الألم سريريًا تاريخ مثير للاهتمام بشكل خاص، يُعاد سرد بعضه في القسم 16.4 "رؤية أعمق" في نهاية هذا الفصل.

مراجعة المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

7. ما هي أنواع المحفزات التي تكتشفها النهايات العصبية الحرة؟
8. اذكر أي أربعة نهايات عصبية مغلفة وحدد أنواع المحفزات الخاصة بها.
9. أين تتشابك معظم الخلايا العصبية الحسية من الدرجة الثانية مع الخلايا العصبية من الدرجة الثالثة؟
10. ميز بين الألم الناتج عن مستقبلات الألم (الألم النوسيبي) والألم العصبي، ووصف الفئات الثلاث للألم النوسيبي.
11. حدد مسارات انتقال إشارات الألم إلى داخل الدماغ وداخله.
12. وصف طريقتين يمكن للجهاز العصبي المركزي من خلالهما تعديل إدراك الشخص لإشارات الألم الواردة.

16.3 الحواس الكيميائية

نتائج التعلم المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. شرح كيفية تحفيز مستقبلات التذوق والشم؛ و
ب. وصف المستقبلات ومسارات الإسقاط لهاتين الحاستين.

التذوق والشم هما الحواس الكيميائية. في كلتا الحالتين، تقوم المواد الكيميائية البيئية بتحفيز الخلايا الحسية وإطلاق إشارات عصبية في بعض الأعصاب القحفية. توجد مستقبلات كيميائية أخرى، لم تُناقش في هذا القسم، في الدماغ والأوعية الدموية وتراقب كيمياء سوائل الجسم. لا يؤثر التذوق والشم فقط على قبولنا أو رفضنا للطعام، بل ينشطان أيضًا إفرازات المعدة وتدفق الدم استعدادًا للهضم، ويحفزان إفراز الأنسولين لتعزيز استقلاب المغذيات.

16.3أ التذوق — حاسة التذوق

التذوق هو إدراك حسي للجزيئات المذابة في الماء التي تتلامس مع مستقبلات الحواس للكائن الحي. وهو أمر حيوي لبقاء الكائنات الحية من أدنى الميكروبات إلى البشر، خاصة في اختيار الطعام والشراب المناسبين.
لماذا يفضل البشر بعض النكهات؟ من الناحية التطورية، يعد البحث عن الأطعمة ذات الجودة الغذائية العالية وتجنب الأطعمة التي قد تكون سامة تكيفًا للبقاء. بالنسبة لأسلافنا من الصيادين والجامعين الذين نادرًا ما كان لديهم وصول إلى الأطعمة السكرية والمالحة والدهنية، كان من المفيد البحث عن النكهات الحلوة والمالحة واللذيذة. في المجتمعات الصناعية، كثير من الناس يعيشون حياة خاملة ولديهم وصول إلى أطعمة رخيصة ومتوفرة بكثرة وسكرية ومالحة ودهنية. أصبح الدافع للبحث عن هذه النكهات غير ملائم لكثيرين — على عكس الصحة — ومرتبطًا بالسمنة وأمراض أخرى تؤثر على حياتنا الحديثة.
تبدأ حاسة التذوق بالتحفيز الكيميائي للخلايا الحسية المجمعة في حوالي ٤٠٠٠ براعم التذوق. تُسمى المحفزات الكيميائية التذوقية **tastants.**

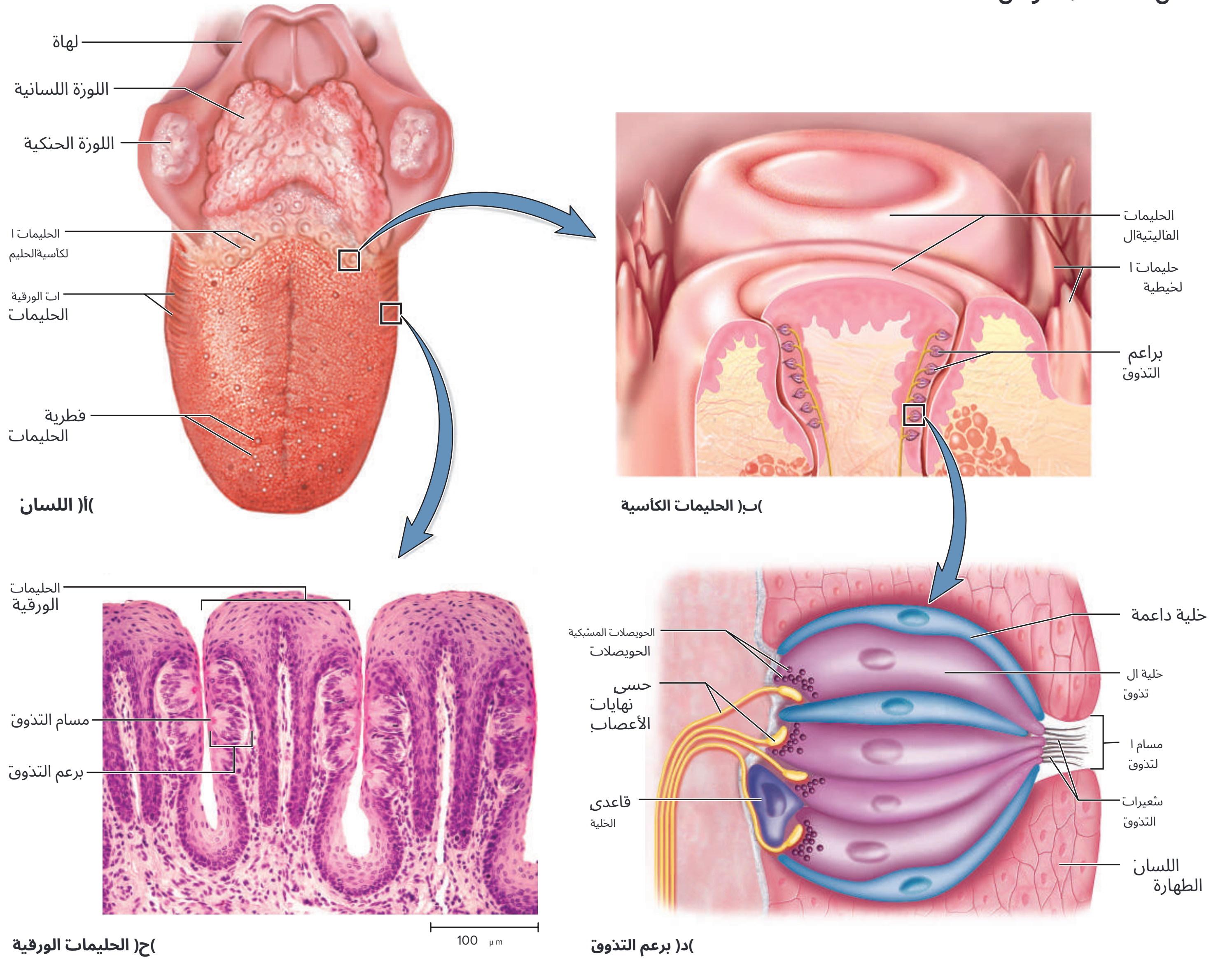
التشريح

النتوءات المرئية على اللسان ليست براعم تذوق بل هي الحليمات اللسانية. هناك أربعة أنواع من الحليمات—واحدة بدون براعم تذوق و ثلاثة تحتوي على براعم تذوق تحت السطح الظهاري مباشرة، حيث لا يمكن رؤيتها بالعين (الشكل 16.6):

1. الحليمات الخيطية[12] هي نتوءات صغيرة بدون براعم تذوق. وهي مسؤولة عن الإحساس الخشن في لسان القطط وتعتبر مهمة للعديد من الثدييات في تمشيط الفرو. وهي

[11] سميت *المادة P* لأنها اكتشفت أولاً في *مستخلص مسحوق* من الدماغ والأمعاء

[12] *خيط* = خيط؛ *شكل* = على شكل



الشكل 16.6 مستقبلات التذوق.)أ(السطح العلوى للسان ومواقع حليماته.)ب(تفاصيل الحليمات الكبيرة)فاليت(.)ح(براعم التذوق على جدران حليمتين ورقيتين متجاورتين.)د(تركيب برعم التذوق. APR

ح: خوسيه لويس كالفو/Shutterstock

3. الحليمات الفطرية [14])FUN-jih-form(تأخذ شكلًا يشبه ال فطر إلى حد ما. كل واحدة تحتوى على حوالى ثلاث براعم تذوق، تقع بشك ل رئيسى على القمة. هذه الحليمات موزعة على نطاق واسع، لكنها تتركز بشكل خاص عند طرف وجوانب اللسان. هذه الحليمات تستجيب لى س فقط للطعم، بل مثل الحليمات الخيطية، تستجيب أيضًا لقوام الطعام.

4. الحليمات الكبيرة)فاليت([15] هى حليمات كبيرة مرتبة على س كل حرف V فى الجزء الخلفى من اللسان. كل واحدة محاطة بخندق دائرى عميق، يشبه الخندق المائى. الغدد فى جذر اللسان تفرز باستمرار اللعاب فى الخندق وتغسله. هذا يمنع بقاء المواد المذاقية القديمة لفترة طويلة حول براعم التذوق فى الحليم ة ويجعل خلايا التذوق أكثر استجابة للنكات الجديدة التى تدخل مع اللعاب. هناك فقط من 7 إلى 12 حليمة فاليت، لكنها تح توى على ما يصل إلى نصف جميع براعم التذوق—حوالى 250 لكل واحدة، تقع على جدران الحليمة المواجهة للخندق.

هى أكثر الحليمات وفرة على لسان الإنسان ومتركزة خصوصًا عند الطرف، وهو الجزء الأكثر حركة. من خلال زيادة الاحتكاك فى هذه المنطقة، قد تساعد فى تحكم اللسان فى الطعام. وهى معصبة وتلعب دورًا فى الإحساس بملمس الطعام، المسمى *الإحساس الفموى*. وهى مهمة ليس فقط فى قبول أو رفض الطعام، بل أيضًا فى الإحساس بمدى مضغ الطعام قبل بلعه.

2. الحليمات الورقية [13] ضعيفة التطور أيضًا فى البشر. تشكل هذه الحواف المتوازية على جانبى اللسان حوالى ثلثى ا لمسافة من الطرف، بجانب الأسنان الطاحنة والأضراس ا لأمامية، حيث يحدث معظم المضغ ويتم إطلاق معظم المواد الكيميائية المسؤولة عن النكهة من الطعام. تتدهور معظم برا عم التذوق لديهم بحلول سن الثانية أو الثالثة. قد يفسر هذا ح رئيًا سبب رفض الأطفال فى كثير من الأحيان للأطعمة التى يتح ملها أو يستمتع بها البالغون.

[14] *فطريات* = فطر؛ *شكل* = مُشكّل
[15] *فال* = جدار؛ *آتى* = مثل، يمتلك

[13] *فولى* = ورقة؛ *ايت* = مثل

الأدنى بين جميع الطعوم — أى أننا نستطيع تذوق تركيزات أقل من القلويدات مقارنة بالأحماض والأملاح والسكريات. ربما يكون هذا إحساسًا وقائيًا؛ فالقلويدات غالبًا ما تكون سامة، والإحسا س بالمر عادة ما يدفع الشخص أو الحيوان إلى رفض تناول الع نصر كغذاء. بينما تجعل النباتات المزهرة ثمارها حلوة بشكل م غر، فإنها غالبًا ما تملأ أوراقها بالقلويدات المرّة لردع الحيوانات عن أكلها. ومع ذلك، فإن العديد من المركبات المرّة ليست سا مة جدًا، والعديد من المركبات السامة فى الطبيعة ليست مرّة. ه ناك ارتباط ضئيل بين الطعم المر والسمية، لذا يُشتبه فى أن لح اسة الطعم المر وظائف أخرى لم تُكتشف بعد.

تم العثور على نفس المستقبل للطعم المر الموجود فى الفم أي ضًا فى الأمعاء الدقيقة، والقصبة الهوائية، وأماكن أخرى، مما ى شير إلى وظيفة أوسع. يبدو أن إحدى الوظائف هى إثارة استجابا ت تكيفية فى الجهاز الهضمى تجاه الأطعمة المختلفة التى نبتلعها. يمتلك البشر حوالى 25 جينًا لمستقبلات الطعم المر المختلفة فقط.

تعزز الطعوم الثلاثة الأولى الشهية والرغبة فى الفئات الأساسية م ن المغذيات — المعادن، والكربوهيدرات، والبروتينات. عادة ما يكون الطعمان الحامض والمر منبهين منفّرين يثنيان عن تناول المواد التى قد تكون ضارة، لكن العديد منا يطور ذوقًا للأطعمة الحامضة والمرّة م ثل الليمون، والزبادى، وأوراق اللفت، وكرنب بروكسل. تختلف الأذوا ق تجاه هذه المواد بين الأشخاص ولها أساس جينى جزئى على الأقل.

فئتان مهمتان من المغذيات غير مدرجتين فى هذه القائمة الكلا سيكية هما الدهون والماء. تشير الأبحاث الحديثة إلى أن هناك طعمي ن أساسيين آخرين قد يستحقان الإدراج فى القائمة، حيث لكل منهما مستقبلات فريدة فى الفم والبلعوم: الأوليوقستوس[17]، وهو اسم مق ترح لطعم الدهون، والماء)إذا اعتبرنا ذلك طعمًا(.

العديد من النكهات التى ندركها ليست مجرد مزيج من هذه الطع مات الأساسية، بل تتأثر أيضًا بدرجة حرارة الطعام والشراب، والصوت)مثل الفقاعات أو القرمشة(، والملمس)مطاطى، متفتت، كريمى(، و الرائحة، ودرجة الحرارة، والمطهر، وحالة العقل، من بين أشياء أخرى. تعتمد العديد من النكهات على الشم؛ فبدون روائحها، يكون للقرفة ط عم حلو خفيف فقط، والقهوة والنعناع مرّان، والتفاح والبصل لهما طع م متشابه تقريبًا.

بعض النكهات مثل الفلفل ناتجة عن تحفيز النهايات الحرة للعصب الثلاثى التوائم بدلاً من براعم التذوق. الحليمات الخيطية والفطرية على اللسان يعصبها العصب اللسانى

)فرع من العصب الثلاثى التوائم(وهى حساسة للملمس.

السكريات، القلويات، والجلوتامات تحفز خلايا التذوق عن طريق الارتباط بمستقبلات على سطح الخلية، والتى تنشط بعد ذلك بروتينات G ونظم الرسل الثانية داخل الخلية. الصوديوم والأحماض تخترق الخلية وتسبب إزالة استقطابها مباشرة. بأى من الآليتين، تفرز خلايا التذوق بعد ذلك نواقل عصبية تحفز التغصنات الحسية فى قاعدتها.

تتواصل خلايا التذوق داخل برعم التذوق الواحد مع بعضها البع ض من خلال الوصلات الفجوية والإشارات الكيميائية لمعالجة المعلو مات الذوقية قبل إرسال الإشارات إلى الدماغ. كما تفرز هرمونات تُر سل إشارات إلى المعدة، البنكرياس، وأعضاء الجهاز الهضمى الأخرى مسبقًا لمعالجة، بطرق مختلفة، أى طعام نوشك على ابتلاعه.

مسارات الإسقاط

العصب الوجهى)العصب القحفى السابع(يجمع المعلومات الحسية من براع م التذوق فى الثلثين الأماميين من اللسان، والعصب البلعومى اللسانى

معظم براعم التذوق توجد على اللسان، ولكن بعضها يوجد داخل ا لخدين وفى الحنك الرخو، والبلعوم، واللهاة، والمرىء العلوى، وخاصة عند الرضع والأطفال. بغض النظر عن موقعها، كل براعم التذوق تبدو متشابهة)الشكل 16.6ح، د(. شكلها وترتيب خلاياها يشبه بصلة الثو م. تشمل من 50 إلى 100 خلية تذوق، وخلايا داعمة، وخلايا قاعدية. خلايا التذوق تأخذ شكلاً يشبه فصوص الثوم الفردية. لديها خصلة من الأهداب الميكروية القمية تسمى شعيرات التذوق، التى تعمل كأس طح مستقبلات للمواد المذوقة. تبرز هذه الشعيرات فى حفرة تسمى مسام التذوق على السطح الطهارى للسان. خلايا التذوق هى خلايا طها رية وليست خلايا عصبية، لكنها تشكل نقاط تشابك عصبى مع نهايا ت الأعصاب الحسية فى قاعدتها، حيث تحتوى على حويصلات تشا بكية وتفرز نواقل عصبية. تعيش خلية التذوق لمدة تتراوح بين 9 إلى 15 يومًا. الخلايا القاعدية هى خلايا جذعية تتكاثر وتستبدل خلايا التذو ق التى ماتت، لكنها أيضًا تشكل نقاط تشابك مع نهايات الأعصاب ا لحسية لبراعم التذوق وقد تلعب دورًا فى معالجة المعلومات الحسية قبل انتقال الإشارة إلى الدماغ.الخلايا الداعمة هى خلايا منحنية ومسط حة على شكل شرائح برميلية. تشكل معظمها كبسولة داعمة حول مح يط برعم التذوق، لكن بعضها يوجد بين خلايا التذوق. لا تحتوى على ح ويصلات تشابكية ولا تلعب دورًا حسيًا.

علم وظائف الأعضاء

لكى يتم تذوقها، يجب أن تذوب الجزيئات فى اللعاب وتغمر مسام ال تذوق.على اللسان الجاف، يكون للسكر والملح طعم قليل مثل رشة م ن الرمل. يعترف علماء الفسيولوجيا حاليًا بخمسة أذواق أساسية على الأقل، موضحة أدناه. يتم اكتشاف جميع هذه الأذواق فى جميع أنحاء ا للسان؛ فقد تخلى علماء الفسيولوجيا منذ زمن طويل عن المفهوم الق ديم لخريطة التذوق على اللسان التى كانت تفترض تخصصًا إقليميًا لحليمات التذوق لأذواق مختلفة. الأذواق الأساسية هى كما يلى:

1. مالح، ينتج عن أيونات المعادن مثل الصوديوم والبوتاسيوم. نظرًا لأن الأملاح هى إلكتروليتات حيوية، فهناك قيمة واضحة فى قدرتنا على تذوقها وفى وجود شهية للملح.
تناول الإلكتروليتات مهم أيضًا فى التنظيم الاسموزى لتوازن سوا ئل الجسم. يمكن أن تسبب نقص الإلكتروليتات رغبة شديدة فى تنا ول الملح؛ حيث تسعى العديد من الحيوانات المتنوعة مثل الحشرا ت، والببغاوات، والغزلان، والفيلة إلى رواسب الملح التى تتراوح بى ن برك الطين والطين الرطب إلى عروق الحيوانات الكبيرة والبشر . يمكن أن يؤدى الحمل إلى خفض تركيز الإلكتروليتات لدى الم رأة وخلق رغبة فى تناول الأطعمة المالحة.
2. الحلو، ينتج عن العديد من المركبات العضوية، وخاصة السكر يات. يرتبط الطعم الحلو بالكربوهيدرات والأطعمة ذات القيمة ا لحرارية العالية. لقد تطورت العديد من النباتات المزهرة لإنتا ج رحيق وفواكه حلوة تجذب الحيوانات لتناولها ونشر حبوب ا للقاح والبذور الخاصة بها. لقد تطورت محبتنا للفواكه والسكر بالتوازى مع استراتيجيات التكاثر النباتية.
3. الأومامى[16] هو طعم لحمى أو مالح ينتج عن الأحماض الأمي نية مثل حمض الأسبارتيك وحمض الجلوتاميك — طعم مرق ا للحم البقرى أو الدجاج، والجبن، والفطر. يحفز طعم الأومامى تناول البروتين.
4. الحامض، عادة ما يرتبط بالأحماض فى أطعمة مثل الفواكه الح مضية. الطعم الحامض عادة ما يكون طعمًا منفّرًا يساعد على تج نب الأطعمة الفاسدة وتحميل الجسم بتوازن الحمض-القاعدة.
5. المر، مرتبط بالأطعمة الفاسدة والقلويدات مثل النيكوتين، والكا فيين، والكينين، والمورفين. عتبة الإحساس بالمر هى

[16] لذيذ، شهى)عامية يابانية(

[17] *oleo* = زيت؛ *gust* = تذوق

علم وظائف الأعضاء

لا يمتلك البشر، كما يُعتقد شائعًا، حاسة شم أضعف من الثدييات الأ
خرى. نشأت هذه الفكرة من افتراضات غير مثبتة في القرن التاسع ع
شر من قبل بول بروكا وسيغموند فرويد، وعانت من تحيز التأكيد في أ
بحاث القرن العشرين وحتى الأبحاث الأحدث. لدينا حوالي ثلث عدد ا
لجينات الشمية الوظيفية مقارنة بالقوارض، لكن لدينا لمبات شمية و
قشرة فص جبهي مداري أكثر تعقيدًا—وهي مناطق الدماغ التي تُفسر
إشارات الرائحة. يتفوق البشر على القوارض والكلاب في بعض الروائح
ويتراجعون عنها في أخرى. حاسة الشم لدينا أكثر حساسية بكثير من
حاسة التذوق؛ يمكننا اكتشاف تركيزات الروائح في الهواء تصل إلى أج
زاء قليلة في التريليون.

يمتلك البشر حوالي ٤٠٠ نوع من مستقبلات الروائح؛ كل خلية شمية
تحتوي على نوع واحد فقط من المستقبلات وبالتالي ترتبط برائحة واحدة فق
ط. ومع ذلك، من خلال تركيبات مختلفة من المدخلات، يمكن لمعظم الناس
التمييز بين ٢٠٠٠ إلى ٤٠٠٠ رائحة مختلفة؛ وبعض الأشخاص، مثل خبراء ا
لطعام والنبيذ على مستوى عالمي، يمكنهم التمييز حتى ١٠٠٠٠ رائحة.
كانت المحاولات لتصنيف هذه الروائح إلى فئات غير حاسمة ومثيرة
للجدل؛ وقد شملت أسماء بعض الفئات المقترحة *الحادة، الزهرية، ا
لمسكية،* و *الترابية.* حاسة الشم لدينا تتأثر بشدة بالتأثيرات "من الأع
لى إلى الأسفل" للحالات العاطفية والمعرفية، لذا قد تبدو نفس الرائح
ة وتركيزها مختلفين لنا في ظروف مختلفة. في المتوسط، تكون الن
ساء أكثر حساسية للروائح من الرجال، ويُلاحظ أنهن أكثر حساسية لبع
ض الروائح قرب وقت الإباضة مقارنة بمراحل أخرى من دورة الحيض.
يُعرف الآن أن التواصل الشمي البشري يلعب دورًا في العلاقات الأ
سرية، ومستويات التوتر والقلق، والاستجابات للحالة التناسلية للآخر
ين، حتى عندما لا نكون واعين لهذه المعلومات.

الخطوة الأولى في الشم هي أن ترتبط جزيئة الرائحة بمستقبل عل
ى أحد الشعيرات الشمية. تنتشر الروائح المحبة للماء بحرية عبر مخاط
الطهارة الشمية وترتبط مباشرة بالمستقبل. أما الروائح الكارهة للماء
فيتم نقلها إلى المستقبل بواسطة *بروتين ربط الرائحة* في المخاط. ع
ندما يرتبط المستقبل بجزيئة الرائحة، ينشط بروتين G ومن خلاله نظا
م الرسول الثاني الأدينوزين أحادي الفوسفات الحلقي)cAMP( )انظر ا
لشكل 3.8(. يفتح نظام cAMP في النهاية قنوات الأيونات في غشاء ا
لبلازما، مما يسمح بدخول الكاتيونات)Na^+ أو Ca^{2+}(إلى الخلية ويحد
ث إزالة استقطاب، مكونًا جهد مستقبل. هذا يحفز جهد الفعل في مح
ور الخلية الشمية، ويتم إرسال إشارة إلى الدماغ.

بعض الروائح، مع ذلك، تؤثر على مستقبلات الألم في العصب ا
لثلاثي التوائم بدلاً من الخلايا الشمية. وتشمل هذه الأمونيا، المنثول، ا
لكلور، والكابسيسين الموجود في الفلفل الحار. "أملاح الشم" تنعش ا
لأشخاص فاقدي الوعي عن طريق تحفيز العصب الثلاثي التوائم بأبخر
ة الأمونيا.
تمتلك العديد من الفقاريات التي تتنفس الهواء مستقبلًا شمياً إ
ضافيًا يُسمى *عضو فوميرونازال)VNO(* ، يقع منخفضًا في تجويف ا
لأنف على كل جانب من عظم الفومر. له عصب منفصل يتجه إلى من
طقة في الدماغ غير موجودة لدى البشر. في الثدييات الأخرى، يكون V
NO مهمًا في اكتشاف الفيرومونات والاستجابات الج
نسية. أما في البشر، فيتدهور هذا العضو في مراحل مبكرة من التطور
الجنيني. على الرغم من الادعاءات العرضية بأهميته لدى البشر، تشير
الدراسات التشريحية والجينية)الجينومية(والبروتينية)البروتيومية(إ
لى أنه عضو متبقي وغير وظيفي بعد الولادة. يكتشف البشر الفيرومو
نات من خلال الجهاز الشمي العادي الموضح سابقًا.

العصب)العصب القحفي التاسع CN IX(من الثلث الخلفي، والعصب الم
بهم)العصب القحفي العاشر CN X(من براعم التذوق في الحنك، البلعوم، وا
للهاة. جميع ألياف التذوق تتجه إلى موقع في النخاع المستطيل يُسمى - *soli*
النواة الابتدائية. تنشأ هنا الخلايا العصبية من الدرجة الثانية وتنقل الإ
شارات إلى وجهتين:)1(النوى في الوطاء)الهيبوثالاموس(واللوزة الد
ماغية التي تنشط الانعكاسات الذاتية مثل اللعاب، والاختناق، والقيء
، والتي تلعب دورًا في العواطف والذاكرة المرتبطة بالتذوق؛ و)2(المه
اد، الذي ينقل الإشارات إلى القشرة الذوقية الأولية، الواقعة في الجزير
ة وسقف الأخدود الجانبي للمخ، حيث نصبح واعين بالطعم.

تُعاد توجيه الإشارات المعالجة إلى قشرة الفص الجبهي المداري)انظر
الشكل 14.16(، حيث يتم دمجها مع الإشارات القادمة من الأنف وا
لعينين ونكوّن انطباعًا عامًا عن نكهة وطعم الطعام.

16.3ب الشم—حاسة الشم

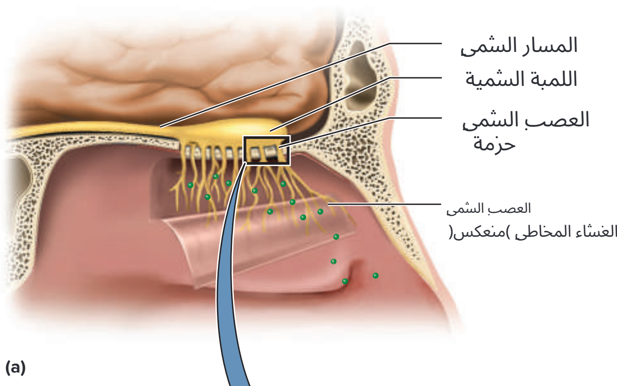
الشم، حاسة الشم، هو استجابة للمواد الكيميائية المحمولة جواً التي
تُسمى الروائح. يتأثر سلوك الإنسان بالشم بطرق واضحة وطرق دقيقة
وغالبًا غير واعية. يلعب دورًا رئيسيًا في اختيار الطعام كما أشرنا ساب
قًا. وهو مهم في تجنب المخاطر، بدءًا من النفور البدائي من الفضلات
أو اللحم المتعفن إلى الوعي الحديث بتسرب الغاز أو المهيجات الكيم
يائية. يشارك في التواصل اللاواعي بين الأشخاص، حيث يؤثر على اخ
تيار الشريك وتكوين الروابط بين الوالدين والرضيع. الشم مرتبط ارتبا
طًا وثيقًا بالذكريات والعواطف. انخفاض القدرة على الشم هو مؤشر م
بكر لمرض الزهايمر، والخلل في حاسة الشم الناتج عن المرض أو الإ
صابة مرتبط بالاكتئاب.

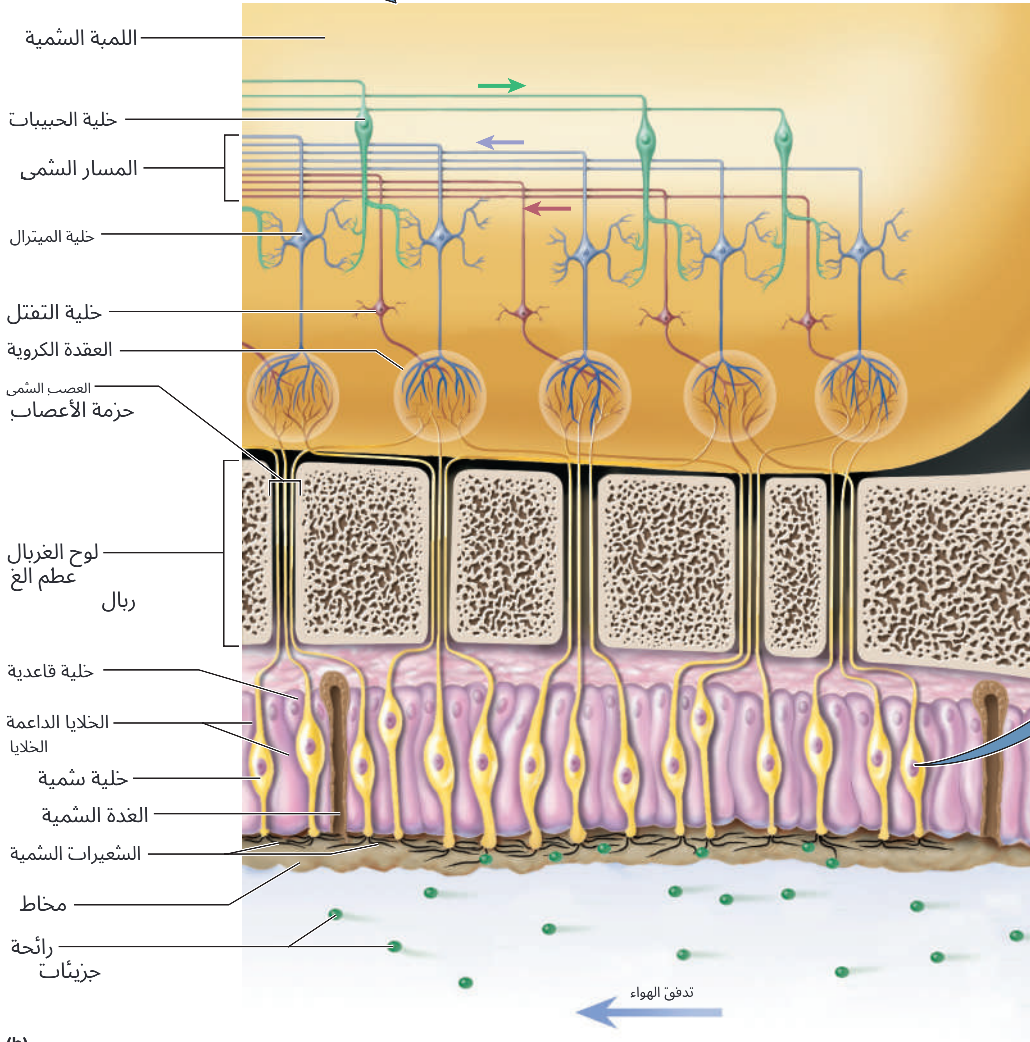
يتم اكتشاف الروائح بواسطة خلايا مستقبلية في رقعة من الطهارة،
الغشاء المخاطي الشمي في سقف التجويف الأنفي)الشكل 16.7(.
يضع هذا الموقع خلايا الشم بالقرب من الدماغ، لكنه ليس مهويًا جيدًا
مثل الجزء السفلي من التجويف الأنفي؛ غالبًا ما يكون الشم القسري
ضروريًا لتحديد رائحة أو تحديد مصدرها.

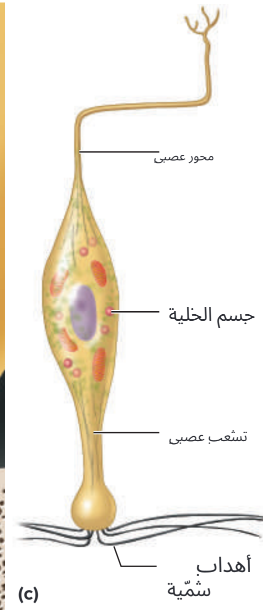
التشريح

يغطي الغشاء المخاطي الشمي حوالي 5 سم^2 من الصيوان العلوي، وا
لصفيحة الغربالية، والحاجز الأنفي لكل تجويف أنفي. ويتكون من 10 إ
لى 20 مليون خلية شمية بالإضافة إلى خلايا طهارية داعمة وخلايا جذع
ية قاعدية. أما بقية التجويف الأنفي فهي مبطنة بغشاء مخاطي *تنفس
ي غير حساس.*
على عكس خلايا التذوق التي هي طهارية، فإن خلايا الشم هي خ
لايا عصبية. شكلها يشبه قليلاً دبابيس البولينج)الشكل 16.7ح(. الجز
ء الأعرض، وهو جسم الخلية، يحتوي على النواة. الرقبة ورأس الخلية
هما سُجيرة معدلة ذات طرف متورم. يحمل الرأس 10 إلى 20 شعيرة
تُسمى الشعيرات الشمية. هذه الشعيرات غير متحركة، لكنها تحتوي
على مواقع ارتباط لجزيئات الرائحة. تقع في كتلة متشابكة مغمورة في
طبقة رقيقة من المخاط. الطرف القاعدي لكل خلية يضيق ليصبح مح
ورًا عصبيًا. تتجمع هذه المحاور العصبية في حزم صغيرة تخرج من ال
تجويف الأنفي عبر مسام *)الثقوب الغربالية(* في عظم الغربال. تُعتبر ه
ذه الحزم مجتمعة العصب الشمي)العصب القحفي الأول(.

خلايا الشم هي الخلايا العصبية الوحيدة المعرضة مباشرة للبيئة ا
لخارجية. يبدو أن هذا يؤثر عليها سلبًا، لأنها تعيش فقط لمدة 60 يومًا
. على عكس معظم الخلايا العصبية، فهي قابلة للاستبدال. تنقسم الخ
لايا القاعدية باستمرار وتتمايز إلى خلايا شمية جديدة.





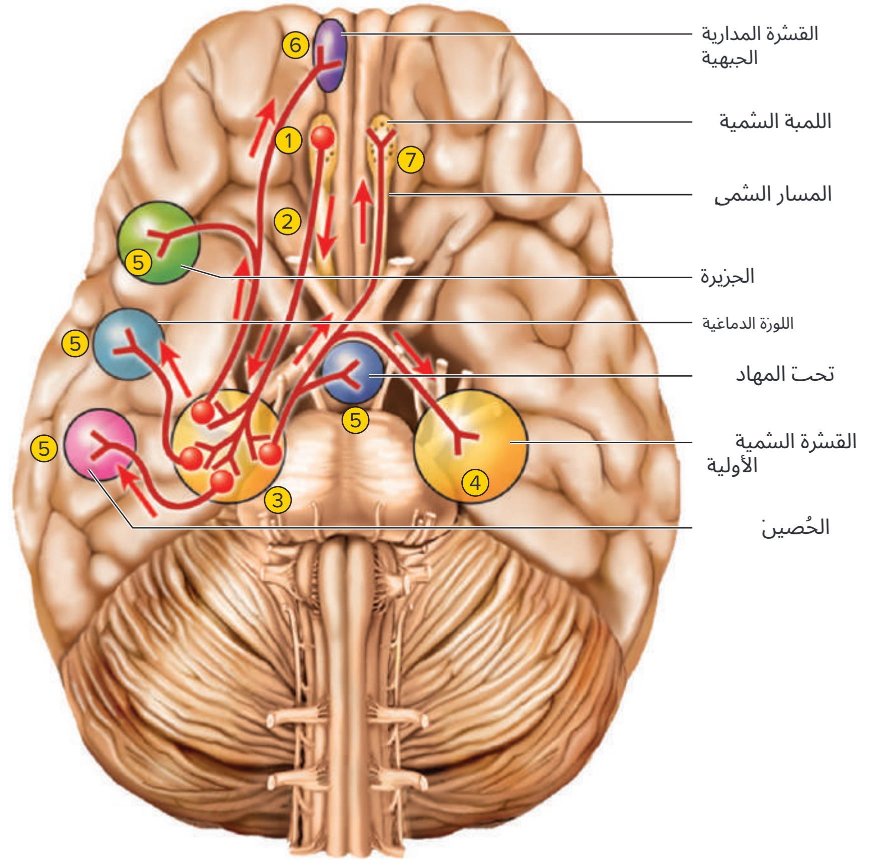


الشكل 16.7 مستقبلات الشم.)أ(موقع الغشاء المخاطى الشمى فى تجو
يف الأنف، والبصلة الشمية فى الدماغ.)ب(المسارات العصبية من ا
لغشاء المخاطى الشمى إلى مسار الشم فى الدماغ.)ح(تفصيل خلية شم
ية.

محاور الشم التى تؤدى إلى أى كبيبة واحدة تأتى من خلايا بنفس نوع المستقبل؛ وبالتالى كل كبيبة مخصصة لنوع معين من الرا ئحة. تفسر مراكز الدماغ العليا الروائح المعقدة مثل الشوكولاتة، النبيذ، العطر، أو القهوة من خلال فك شفرات الإشارات القادمة من مجموع ة من الكبيبات الخاصة بالرائحة. هذا مشابه للطريقة التى يفك بها نطا منا البصرى جميع ألوان الطيف باستخدام مدخلات من ثلاث خلايا م ستقبلية خاصة بالألوان فى العين فقط.

مسارات الإسقاط

عندما تمر محاور الخلايا الشمية عبر سقف الأنف، فإنها تدخل زوجًا من البصيلات الشمية تحت الفصوص الجبهية من الدماغ)الشكل 16.8(. هنا تتشابك مع التغصنات الخاصة بالخلايا العصبية تُسمى *خلايا الميترال* و *الخلايا المتفرعة*. تصل محاور خلايا الشم إلى فى حين أن تفرعات خلايا الميترال والتافت تمتد إلى الأسفل لتلتقى بعضها البعض فى تجمعات كروية تُسمى *الكبيبات*)الشكل 16.7ب(. جميع



1 تُستقبل الإشارات الشمية فى البصيلات الشمية.

2 تُنقل الإشارات إلى الخلف عبر المسارات الشمية.

3 القشرة الشمية الأولية فى الفص الصدغى
تُنشئ الإدراك الواعى للرائحة و
تنقل الإشارات إلى وجهات دماغية أخرى.

4 تُنقل الإشارات من كل فص صدغى إلى
الفص الصدغى المقابل، لذا يتم
عكس كل المعالجة فى نصفى الكرة المخية.

5 تُنقل الإشارات إلى اللوزة الدماغية، الحُصين،
القشرة الجزيرة، والوطاء، وترتبط الرائحة
بالذاكرة الشمية وتنتج استجابات عاطفية
وحشوية للرائحة.

6 الإشارات المستقبلة فى القشرة المدارية الجبهية تندم
ج مع معلومات أخرى لتحديد وتمييز الروا
ئح ودمج الرائحة فى الإحساس بالنكهة.

7 التغذية الراجعة إلى البصلة الشمية تعدل
إدراك الرائحة وفقًا للظروف

الشكل 16.8 مسارات الإسقاط الشمية فى الدماغ. هذا يوضح فقط المسارات خارج المهاد.

تتلقى القشرة المدارية الجبهية، الواقعة فوق العينين مباشرة، أيضًا إ شارات من القشرة الشمية الأولية. هنا يتم التعرف على الرائحة والتم ييز بينها. كما تدمج هذه المنطقة الرائحة، والطعم، والرؤية فى انطباع عام عن مدى جاذبية أو قبول الطعام.

ترسل معظم مناطق القشرة الشمية أيضًا إشارات إلى البصيلات الشمية عبر خلايا تُسمى *خلايا الحبيبات*. يمكن لخلايا الحبيبات تثبيط الخلايا الميترالية والمتجمعة. ومن تأثير هذا التغذية الراجعة أن الرائح ة قد تتغير فى الجودة والأهمية تحت ظروف مختلفة. على سبيل الم ثال، قد تبدو رائحة الطعام أكثر جاذبية عندما تكون جائعًا مقارنةً بعد تناول الطعام أو عند المرض.

ل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

13. ما الفرق بين الحليمات اللسانية وبصيلات التذوق؟ أيهما مرئى للعين المجردة؟

14. اذكر الطعوم الأساسية وناقش أهميتها التكيفية)قيمة البقاء(.

15. أى من الأعصاب القحفية تنقل النبضات الذوقية إلى الدماغ؟

16. أى جزء من خلية الشم يرتبط بجزيئات الرائحة؟

17. ما هى مناطق الدماغ التى تخدم حاسة الشم وكيف تختلف فى و ظائفها الشمية؟

تحمل الخلايا المتجمعة والخلايا الميترالية الإشارات الصادرة من الكريات العطرية. تشكل محاورها حزمًا تُسمى المسارات الشمية، والتى تمتد نحو الأس فل على طول الجزء السفلى من الفصوص الجبهية. تنتهى معظم أليا ف المسارات الشمية فى مناطق مختلفة من السطح السفلى للفص ا لصدغى والتى تُعتبر القشرة الشمية الأولية. هنا يصبح الإنسان مدركًا للرائحة لأول مرة. ومن الجدير بالذكر أن الإشارات الشمية يمكن أن ت صل إلى القشرة المخية مباشرة، دون المرور أولاً عبر المهاد؛ وبالتالى، فإن هذا يُعد مسارًا خارج المهاد18. باستثناء مسار الألم الشبكى الشو كى)انظر الشكل 16.3(، لا تتجاوز أى إشارات حسية أخرى المهاد. وم ع ذلك، فى الشم، تستمر بعض الإشارات من القشرة الشمية الأولية إ لى محطة ترحيل فى المهاد فى طريقها إلى مناطق الترابط الشمية ف ى أماكن أخرى. تقوم القشرة الشمية الأولية لكل نصف كرة مخية بترح يل الإشارات إلى نصف الكرة المقابل، مما يجعل كل المعالجة اللاحقة متماثلة على جانبى الدماغ حتى لو تم اكتشاف الرائحة فى البداية فى إ حدى تجاويف الأنف فقط.

على كلا الجانبين، تُرحل الإشارات إلى اللوزة الدماغية، الحصين، الجزيرة، وتحت المهاد، التى تتفاعل بطرق معقدة لربط الرائحة الحالية بالذكريات الشمية والاستجابات العاطفية. وبالتالى، يمكن لرائحة بعض الأطعمة، أو العطر، أو المستشفى، أو اللحم المتعفن أن تثير ذكريات قوية، واستجابات عاطفية، وردود فعل جسدية مثل العطش أو السعال، وإفراز اللعاب وحمض المعدة، أو التقيؤ.

[18] *extra*= خارج؛ *thalam*= غرفة، المهاد

السمع والتوازن 16.4

نتائج التعلم المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. تحديد خصائص موجات الصوت التي تفسر النغمة والشدة؛

ب. وصف التشريح الكلي والمجهري للأذن؛

ج. شرح كيف تقوم الأذن بتحويل الاهتزازات إلى إشارات عصبية وا لتمييز بين الأصوات ذات الشدة والنغمة المختلفة؛

د. شرح كيف يمكن للجهاز الدهليزي أن يمكن الدماغ من تفسير وضع الجسم وحركاته؛ و

هـ. وصف المسارات التي تسلكها الإشارات السمعية والدهليزية إلى الدماغ.

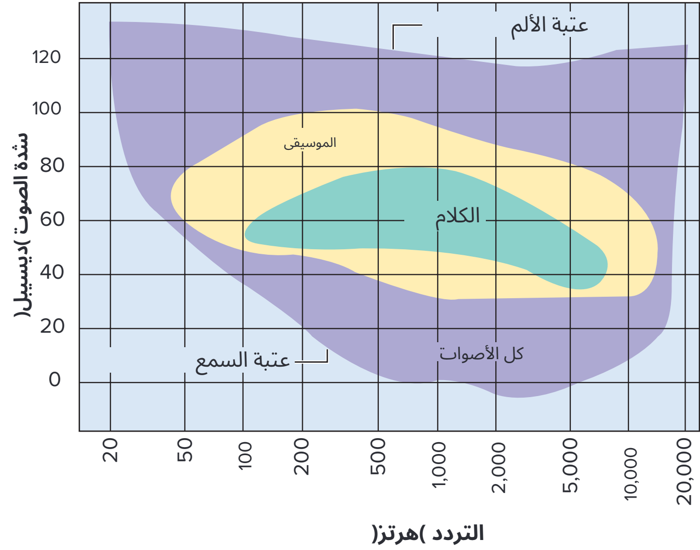
السمع هو استجابة لجزيئات الهواء المهتزة، و التوازن هو حاسة تحديد اتجاه الجسم وحركته وتوازنه. كلا الحاستين يقعان في الأذن الداخلية، وهي متاهة من الممرات المملوءة بالسائل والخلايا الحسية. سندرس كيف يتحرك السائل وكيف تحول الخلايا الحسية هذا الحركة إلى إشار ة عصبية مفيدة.

16.4أ طبيعة الصوت

لفهم فسيولوجيا السمع، من الضروري معرفة بعض الخصائص الأساسية للصوت. الصوت هو أي اهتزاز مسموع لجزيئات. يمكن أن ينتقل عبر الماء أو المواد الصلبة أو الهواء، ولكن ليس عبر الفراغ. نقاشنا يقتصر على الصوت المحمول جواً. الصوت يُنتج بواسطة جسم مهتز مثل شوكة الرنين، مكبر الصوت، أو الأحبال الصوتية. خذ على سبيل المثال مكبر الصوت. عندما يتحرك مخروط مكبر الصوت إلى الأمام، فإنه يدفع جزيئات الهواء أمامه. تصطدم هذه الجزيئات بجزيئات أخرى أمامها مباشرة، ويتم نقل الطاقة من جزيء إلى آخر حتى تصل إلى طبلة الأذن. لا يتحرك أي جزيء بمسافة كبيرة؛ بل يصطدمون ببعضهم البعض م ثل كرات البلياردو حتى تصطدم بعض الجزيئات في النهاية بطبلة الأذ ن وتجعلها تهتز. النغمة والشدة التي ندركها ترتبط بالخصائص الفيزيا ئية لهذه الاهتزازات.

النغمة

النغمة هي إحساسنا بما إذا كان الصوت "عاليًا")نغمة حادة(أو "منخ فضًا")نغمة جهيرة(. يتم تحديدها بواسطة التردد الذي يهتز عنده مص در الصوت، وطبلة الأذن، وأجزاء أخرى من الأذن. حركة واحدة لجسم م هتز ذهابًا وإيابًا \تسمى دورة، وعدد الدورات في الثانية)أو الهرتز، H z(يسمى التردد. أدنى نغمة على البيانو، على سبيل المثال، هي 27.5 هرتز، والنغمة الوسطى C هي 261 هرتز، وأعلى نغ مة هي 4,176 هرتز. أكثر الآذان حساسية لدى البشر، خصوصًا عند الأ طفال، يمكنها سماع الترددات من 20 إلى 20,000 هرتز، لكن معظم نا لا يستطيع سماع هذا النطاق الواسع. الترددات تحت الصوتية)infr asonic(تحت 20 هرتز لا تُكتشف بواسطة الأذن، لك نا نشعر بها من خلال اهتزازات الجمجمة والجلد ولها دور مهم في تق ديرنا للموسيقى. الاهتزازات فوق الصوتية)ultrasonic(التي تتجاوز 20,000 هرتز غير مسموعة. آذان الإنسان أكثر حساسية للترددات بين 1,500 و5,000 هرتز. في هذا النطاق، يمكننا سماع أصوات ذات طا قة منخفضة)حجم منخفض(، بينما يجب أن تكون الأصوات فوق أو تحت هذا النطاق أعلى لكي تكون مسموعة، كما يتضح من



الشكل 16.9 نطاق السمع البشري.

؟ كيف سيتغير شكل هذا الرسم البياني في حالة فقدان سمع معتد ل بين 200 و 5000 هرتز؟

المنحنيات الحادة الصاعدة في كلا طرفي نطاق اللون البنفسجي في الشكل 16.9. الكلام الطبيعي يقع ضمن نطاق 1,500 إلى 5,000 هرتز. معظم فقدان السمع الذي يحدث مع التقدم في العمر يكون في نطاق 250 إلى 2,050 هرتز.

الشدة

الشدة هي إدراك طاقة الصوت، أو شدته، أو سعة الاهتزاز. في مثال مكبر الصوت، السعة هي مقياس لمدى تحرك المخروط ذهابًا وإيابًا في كل دورة وكمية ضغط جزيئات الهواء أمامه. تُعبر الشدة بوحدة الد يسيبل)dB(، حيث يُعرف 0 ديسيبل بأنه طاقة صوتية تعادل عتبة ال سمع لدى الإنسان. كل زيادة بمقدار 10 ديسيبل تمثل صوتًا شدته أك بر بعشر مرات. بالتالي، 10 ديسيبل تعني 10 أضعاف العتبة، 20 دي سيبل تعني 100 ضعف العتبة، 30 ديسيبل تعني 1,000 ضعف الع تبة، وهكذا. المحادثة العادية لها شدة حوالي 60 ديسيبل. عند معظم ا لترددات، عتبة الألم تكون بين 120 إلى 140 ديسيبل، وهي تقريبًا شد ة صوت الرعد العالي. التعرض المطول لأصوات تزيد عن 90 ديسيبل يمكن أن يسبب فقدان سمع دائم.

16.4ب تشريح الأذن

الأذن تتكون من ثلاثة أقسام تُسمى الأذن الخارجية، الوسطى، والداخلية. الأولان يتعلقان فقط بنقل الصوت إلى الأذن الداخلية، حيث يتم تحو يل الاهتزاز إلى إشارات عصبية.

الأذن الخارجية

الأذن الخارجية)الخارجية(هي في الأساس قمع لنقل الاهتزازات المح مولة جواً إلى طبلة الأذن. تبدأ بالصيوان اللحمي)الصيوان(على جانب الرأس، وهو مشكل ومدعوم بغضروف مرن باستثناء شحمة الأذن، ال تي تتكون في الغالب من نسيج دهني. الصيوان هو ترتيب من الحلقا ت والتجاويف المسماة التي توجه الصوت إلى القناة السمعية)الشك ل 16.10(.

القناة السمعية)المجرى السمعي الخارجي(هي الممر الذي يمر ع بر عظم الصدغي إلى طبلة الأذن. تتبع مسارًا على شكل حرف S قليلاً لمسافة حوالي 3 سم)الشكل 16.11(. وهي مبطنة

مع الجلد ومدعوم بغضروف ليفى عند فتحتها وبالعظم الصدغى لبقية طولها.
النهاية الخارجية للقناة محمية بشعيرات حارسة صلبة.
تحتوى القناة على غدد شمعية وزهمية تفرز مواد تخلط مع خلايا الجلد الميتة وتشكل الشمع)شمع الأذن(. الشمع لزج ويغطى الشعيرات ال حارسة، مما يجعلها أكثر فعالية فى منع دخول الجسيمات الغريبة إلى القناة السمعية. قد تكون لزوجته أيضًا رادعًا للحشرات والقراد أو الآفا ت الأخرى. بالإضافة إلى ذلك، يحتوى على الليزوزيم وله درجة حموضة منخفضة، وكلاهما يمنع نمو البكتيريا والفطريات؛ كما أنه يجعل القناة مقاومة للماء ويحمى جلدها والغشاء الطبلى من امتصاص الماء؛ ويح افظ على مرونة الغشاء الطبلى. القناة السمعية عادةً ما تنظف نفسها حيث تموت خلايا الطهارة وتتقشر وتحمل الشمع الجاف معها مثل ح زام ناقل. ومع ذلك، يمكن أن يؤدى إفراز الشمع الزائد أو العناية غير ا لصحيحة بالأذن إلى انسداد الشمع وتداخل مع السمع.

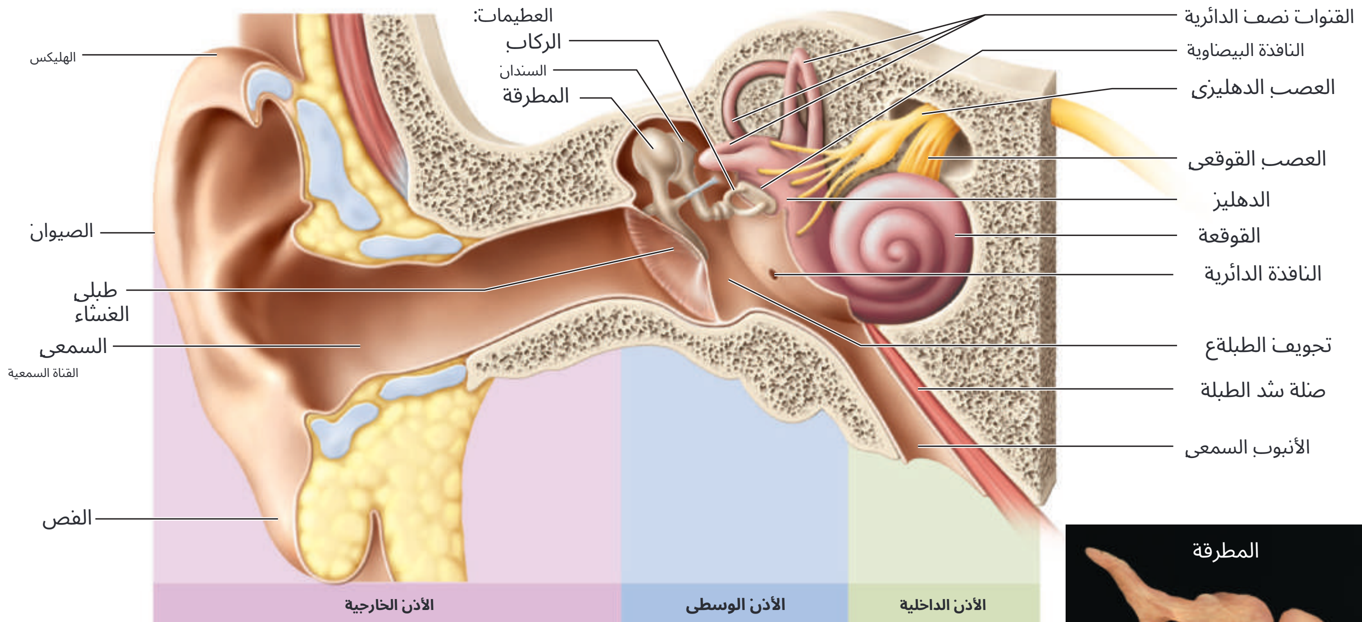


الشكل 16.10 تشريح الصيوان)الآذان الخارجية(للأذن.
جو ديغرانديس / كين سالادين

الأذن الوسطى

تقع الأذن الوسطى فى التجويف الطبلى لعظم الصدغى. ما نطلق عليه عادةً طبلة الأذن يُعرف تشريحيًا باسم الغشاء الطبلى. يغلق الغشاء ا لطرف الداخلى للقناة السمعية ويفصلها عن الأذن الوسطى. الغشاء ى شبه قبعة الفلاح الصينى)الكوولى(— قطره حوالى 1 سم ومقعر قليلاً على سطحه الخارجى. وهو معلق فى أخدود حلقى الشكل فى عطم ال صدغى ويرتج بحرية.

[19] tympan = طبلة





الشكل 16.11 التشريح الداخلى للأذن.)أ(التشريح العام.)ب(عطيمات السمع)عطام الأذن الوسطى(.
ب: ديف روبرتس/مصدر العلوم

العظمة الثانية، السندان، لها جسم ثلاثى الشكل يتصل بالمطرقة؛ و ذراع طويل يتصل بالركاب؛ و ذراع قصير)غير موضح(معلق بواسطة ر باط من جدار التجويف. الركاب، أصغر عظمة فى الجسم، يشبه الركا ب فى الشكل. له رأس يتصل بالسندان؛ وذراعان تشكلان قوسًا؛ وقا عدة بيضاوية)لوح القدم(. تُثبت القاعدة بواسطة رباط حلقى فى فتح ة تسمى النافذة البيضاوية حيث تبدأ الأذن الداخلية. على الجانب الآ خر من القاعدة يوجد سائل الأذن الداخلية المسمى البيريليمف.

عضلات الأذن الوسطى هى عضلة الركاب وعضلة شد الطبلة. تن شأ عضلة الركاب من الجدار الخلفى للتجويف وتلتحم بالركاب. تنشأ ع ضلة شد الطبلة من جدار الأنبوب السمعى، وتسير بجانبه، وتلتحم بالم طرقة. تُناقش وظيفة هذه العضلات ضمن فسيولوجيا السمع.

الأذن الداخلية

الأذن الداخلية)الداخلية(تقع داخل متاهة من عظام الصدغ تُسمى الم تاهة العظمية، والتى تحتوى على نظام من الأنابيب اللحمية يُسمى ال متاهة الغشائية)الشكل 16.13(. بين المتاهة العظمية والمتاهة الغ شائية يوجد وسادة من السائل تُسمى البيريليمف)PER-ih-limf(، وه و مشابه للسائل الدماغى الشوكى. داخل المتاهة الغشائية يوجد سائل يُسمى الإندوليمف، وهو مشابه للسائل داخل الخلايا. تشكل المتاهة العظمية والغشائية هيكل أنبوب داخل أنبوب، يشبه إلى حد ما أنبوب الدراجة الداخلى داخل الإطار.

[23] incus = سندان
[24] stapes = ركاب

استجابةً للصوت. يُعصّب بواسطة فروع حسية من العصب المبهم وا لعصب الثلاثى التوائم وهو حساس جدًا للألم.
خلفيًا)خلف الأذن(، تجويف الطبلة مستمر مع خلايا الخشاء — فراغات مملوءة بالهواء فى نتوء الخشاء لعظم الصدغى. وهو مملوء با لهواء الذى يدخل عبر الأنبوب السمعى)أنبوب أوستاش أو أنبوب ال بلعوم الطبلى(، وهو ممر إلى البلعوم الأنفى.)يُرجى الحذر من عدم الخ لط بين الأنبوب السمعى و القناة السمعية.(يعمل الأنبوب السمعى على تهوية وتصريف الأذن الوسطى.
عادةً ما يكون مسطحًا ومغلقًا، لكن البلع أو التثاؤب يفتحه ويسمح بد خول أو خروج الهواء من تجويف الطبلة. هذا يعادل ضغط الهواء على جانبى غشاء الطبلة، مما يسمح له بالاهتزاز بحرية. الضغط الزائد على أ حد الجانبين يضعف حاسة السمع وقد يسبب ألمًا، كما يحدث عادةً أ ثناء الرحلات الجوية. للأسف، يسمح الأنبوب السمعى أيضًا لالتهابات الحلق بالانتشار إلى الأذن الوسطى)انظر التعمق 16.1(.

تجويف الطبلة، وهو مساحة لا تتجاوز 2 إلى 3 مم بين الأذن الخار جية والداخلية، يحتوى على أصغر ثلاث عظام وأصغر عضلتين هيكلى تين فى الجسم. تُسمى هذه العظام العظيمات السمعية)الشكل 16. 11ب(، وتربط غشاء الطبلة بالأذن الداخلية. عند التقدم إلى الداخل، ا لعظمة الأولى هى المطرقة، التى لها مقبض طويل متصل بالسطح ا لداخلى لغشاء الطبلة، و رأس يتصل بالعظمة التالية.

[20] بارثولوميو أوستاشيو)1524–74(، عالم تشريح إيطالى
[21] oss = عظم؛ icle = صغير
[22] malleus = مطرقة

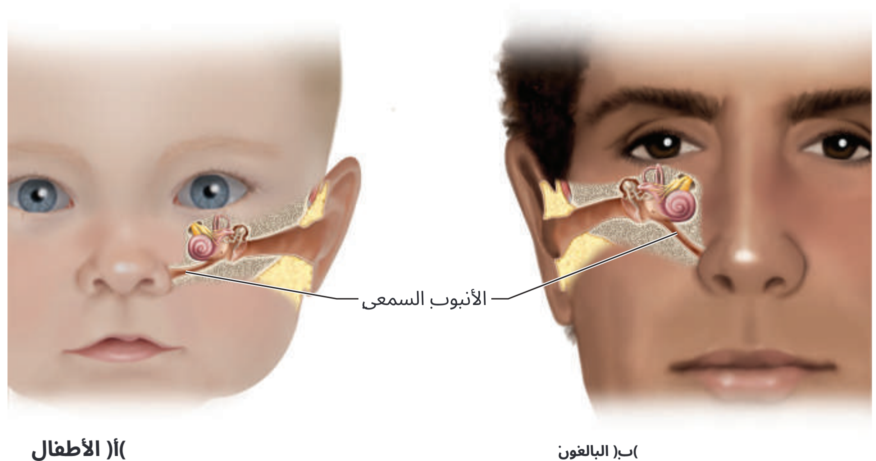
نظرة أعمق 16.1
التطبيق السريرى

التهاب الأذن الوسطى

يصاب حوالى 80% من الأطفال بالتهابات الأذن الوسطى التى تسبب التهاب)ال تهاب الأذن الوسطى(خلال السنوات العشر الأولى من العمر. فى الولايات المتحد ة، يمثل هذا حوالى 30 مليون زيارة للطبيب سنويًا وحوالى نصف جميع وصفات ا لمضادات الحيوية للأطفال؛ ويؤثر على حوالى 11% من سكان العالم سنويًا.

لماذا هو شائع جدًا بين الأطفال؟ حتى عمر حوالى 8 سنوات، تكون أنابيب السمع قصيرة وأفقية نسبيًا)الشكل 16.12(. تسمح هذه الأنابيب لالتهابات الجهاز التنفسى الع لوى بالانتشار بسهولة من الحلق إلى تجويف الطبلة وخلايا الخشاء. حمل الرضيع أفقيًا أثناء الرضاعة الطبيعية أو وضعه فى السرير مع زجاجة يزيد من خطر التهاب الأذن الوسطى. لتقليل الخطر، يجب ح مل الرضيع فى وضع مائل ورأس مرفوع أثناء الرضاعة من الثدى أو ا لزجاجة.

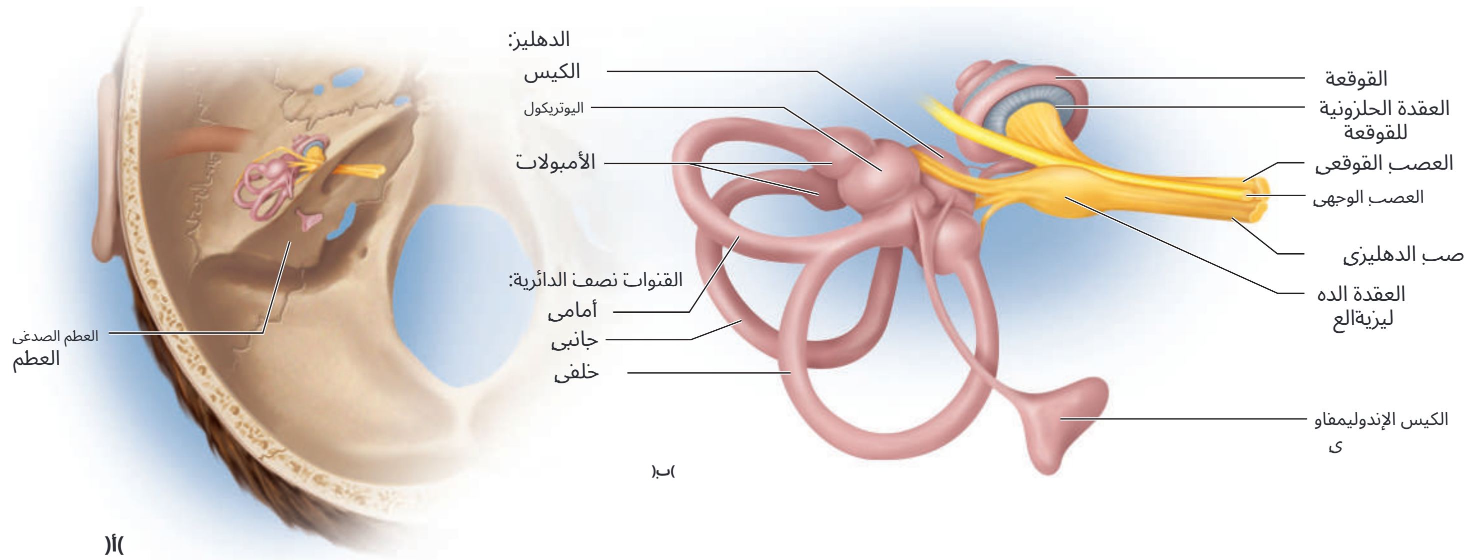
تراكم السوائل فى التجويف يسبب ضغطًا وألمًا وضعفًا فى ال سمع. إذا تُرك التهاب الأذن الوسطى دون علاج، فقد ينتشر من خ لايا الخشاء ويسبب التهاب السحايا، وهو عدوى قد تكون مميتة)انظر التعمق 14.1(. يمكن أن يسبب التهاب الأذن الوسط ى المزمن أيضًا اندماج عظام الأذن الوسطى ويؤدى إلى فقدان السمع الدائم. لمنع مثل هذه العواقب، قد يكون من الضرورى أحيانًا تصريف السوائل من تجويف الط بلة عن طريق شق غشاء الطبلة وإدخال أنبوب تصريف صغير — إجراء يسمى tympanostomy[26] الأنبوب، الذى يتم التخلص منه فى نهاية المطاف من الأذن، يخ فف الضغط ويسمح للعدوى بالشفاء.

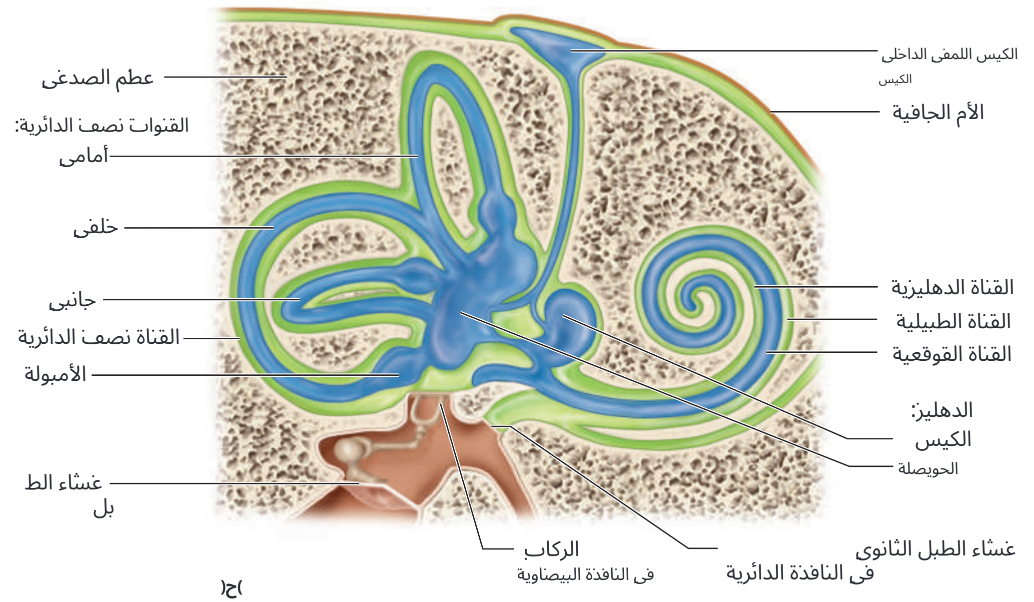


الشكل 16.12 أنبوب السمع للرضيع والبالغ.)أ(الأنبوب ا لأقصر والأفقى تقريبًا للرضع والأطفال الصغار يجعل من ال سهل إصابتهم بالتهابات الأذن الوسطى.)ب(الأنبوب الأطو ل والأكثر ميلًا للبالغين.

[25] ot = أذن؛ itis = التهاب؛ media = وسط

[26] tympano = طبلة الأذن؛ stomy = عمل فتحة





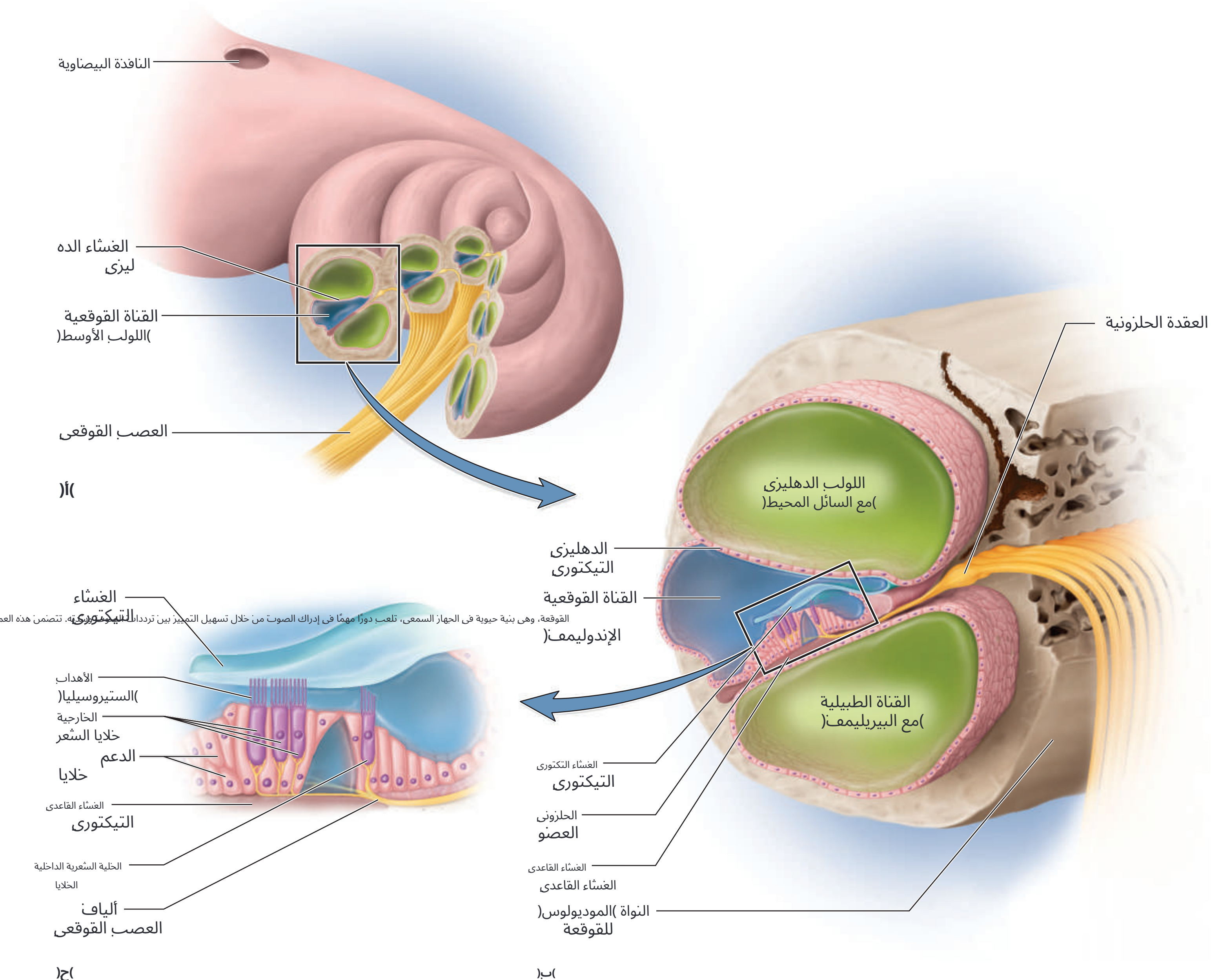
الشكل 16.13 تشريح اللابيرنث الغشائى.)أ(الموقع والاتجاه داخل الجزء الصخرى من عظم الصدغى.)ب(تركيب اللابيرنث الغشائى والأعصاب.)ح(العلاقة بين البيريليمف)الأخضر(و الإندوليمف)الأزرق(مع اللابيرنث.

تبدأ المتاهات بحجرة تسمى الدهليز، التى تحتوى على أعضاء التوازن التى سيتم مناقشتها لاحقًا. عضو السمع هو القوقعة[27]كوكليا(، وهو أنبوب ملفوف ينشأ من الجانب الأمامى للدهليز. فى الفقاريات الأخرى، تكون القوقعة مستقيمة أو منحنية قليلاً. فى معظم الثدييات، تتخذ شكل لولب يشبه الحلزون، مما يسمح بوجود قوقعة أطول فى مساحة مضغوطة. فى البشر، يبلغ عرض اللولب حوالى 9 مم عند القاعدة وارتفاعه 5 مم. يشير قمة اللولب إلى الأمام والجانب.

تلف القوقعة حوالى 2.5 لفة حول محور عظمى يشبه المسمار يسمى الموديولوس[28])مو-دى-أولوس(. تشكل "خيوط المسمار" منصة لولبية تدعم الأنبوب اللحمى للقوقعة.
يقطع مقطع عمودى القوقعة حوالى خمس مرات)الشكل 16.14أ(. يبدو المقطع العرضى الفردى مثل الشكل 16.14ب. من المهم أن ندرك أن الهياكل التى تُرى فى المقطع العرضى لها فى الواقع شكل شرائط لولبية تلف حول الموديولوس من القاعدة إلى القمة.
تحتوى القوقعة على ثلاث حجرات مملوءة بالسوائل مفصولة بواسطة أغشية. الحجرة العلوية تسمى السلم[29] الدهليزى

)إس-كا-لا فيس-تى-بى-لى(والحجرة السفلية هى السلم الطبلى. هذه مملوءة بالبيريليمف وتتواصل مع بعضها البعض عبر قناة ضيقة عند قمة القوقعة.
يبدأ السلم الدهليزى بالقرب من النافذة البيضاوية ويلف إلى القمة؛ من هناك، يلف السلم الطبلى مرة أخرى إلى القاعدة وينتهى عند النافذة الدائرية)الشكل 16.13(. النافذة الدائرية مغطاة بغشاء يسمى *الغشاء الطبلى الثانوى.*
الحجرة الوسطى هى مساحة مثلثة، وهى قناة القوقعة)اللولب الأوسط(. تفصلها عن القناة الدهليزية)سكالا فيستيبيولى(أعلاه غشاء دهليزى رقيق، وعن القناة الطبلية)سكالا تيمبانى(أدناه غشاء قاعدى أكثر سمكًا. على عكس تلك الحجرات، فهى مملوءة بالسائل الداخلى)إندوليمف(بدلاً من السائل المحيطى)بيريليمف(. يفصل الغشاء الدهليزى السائل الداخلى عن السائل المحيطى ويساعد فى الحفاظ على فرق كيميائى بينهما. داخل قناة القوقعة، المدعومة بالغشاء القاعدى، يوجد العضو الحلزونى)العضو السمعى(— وهو طهارة سميكة من الخلايا الحسية والخلايا الداعمة والأغشية المرتبطة)الشكل 16.14c). هذا هو الجهاز الذى يحول الاهتزازات إلى إشارات عصبية، لذا يجب أن نولى اهتمامًا خاصًا لتفاصيل هيكله.
يحتوى العضو الحلزونى على طهارة مكونة من خلايا شعرية و خلايا داعمة. تُسمى الخلايا الشعرية بهذا الاسم بسبب الأهداب الدقيقة الطويلة والصلبة

---
[27] *القوقعة* = الحلزون
[28] *الموديولوس* = المحور
[29] *السلم* = الدرج



الشكل 16.14 تشريح القوقعة.)أ(مقطع عمودى. فى الوضع التشريحى، يواجه قمة القوقعة للأسفل وإلى الأمام والجانب.)ب(تفصيل لمقطع واحد عبر القوقعة.)ح(تفصيل للعضو الحلزونى.

٧، مع أطرافها المدمجة فى الغشاء القشرى. كل ما نسمعه يأتى من خلايا ال
شعر الداخلية)IHCs(، التى تزود 90% إلى 95% من الألياف الحسية للعص
ب القوقعى. وظيفة خلايا الشعر الخارجية)OHCs(هى تعديل استجابة القو
قعة للترددات المختلفة وتمكين خلايا الشعر الداخلية من العمل بدقة أكبر.
سنرى لاحقًا كيف يتم ذلك. خلايا الشعر ليست خلايا عصبية، لكنها تشكل ن
قاط تشابك مع نهايات الأعصاب عند قاعدتها — خلايا الشعر الخارجية مع
كل من الخلايا العصبية الحسية والحركية، وخلايا الشعر الداخلية مع الخلايا ال
عصبية الحسية فقط.

16.4ح فسيولوجيا السمع

يمكننا الآن دراسة كيفية تأثير الصوت على الأذن وإنتاج جهد الفعل.
تدخل موجات الصوت القناة السمعية من جانب واحد وتخرج الإشارا
ت العصبية من الأذن الداخلية من الجانب الآخر. يربط بينهما الأذن ا
لوسطى، لذا نبدأ بتحليل مساهمتها.

تُسمى الستيروسيليا[30] على أسطحها القمية.)الستيروسيليا ليست أ
دابًا حقيقية. فهى لا تحتوى على محور من الأنابيب الدقيقة كما هو ال
حال فى الأهداب، ولا تتحرك بمفردها.(ترتكز فوق الستيروسيليا غشا
ء هلامى الغشاء السقفى.31
يحتوى العضو الحلزونى على أربعة صفوف من خلايا الشعر ملتفة على
طول طوله)الشكل 16.15(. حوالى 3500 منها تُسمى خلايا الشعر الداخ
لية)IHCs(، مرتبة فى صف على الجانب الوسيط من الغشاء القاعدى)موا
جهة الموديولوس(. كل واحدة منها تحتوى على مجموعة من 50 إلى 60
ستيروسيليا، مرتبة من القصير إلى الطويل. وهناك 20000 خلايا الشعر ا
لخارجية)OHCs(مرتبة بدقة فى ثلاثة صفوف مقابل خلايا الشعر الداخلية.
كل خلية شعر خارجية تحتوى على حوالى 100 ستيروسيليا مرتبة فى

[30] ستيريو = صلب
[31] تيكت = سقف

كما أن الانعكاس الطبلى لا يحمى الأذنين بشكل كافٍ من الضوضاء العا
لية المستمرة مثل ضوضاء المصانع أو الموسيقى الصاخبة. يمكن لمثل
هذه الضوضاء أن تلحق ضررًا لا رجعة فيه بخلايا الشعر فى الأذن الداخ
لية. لذلك من الضرورى ارتداء حماية للأذن عند استخدام الأسلحة النارية
أو العمل فى بيئات صاخبة)حتى فى الأوركسترا السيمفونية(.
تساعد عضلات الأذن الوسطى أيضًا فى تنسيق الكلام مع السمع.
بدونها، سيكون صوت كلامك مرتفعًا جدًا لدرجة قد تلحق الضرر بأذن
ك الداخلية، وسيطغى على الأصوات الناعمة أو ذات التردد العالى من
مصادر أخرى. ومع ذلك، قبل أن تبدأ بالكلام، يرسل الدماغ إشارات له
ذه العضلات للانقباض. هذا يخفف من حدة السمع متزامنًا مع نبرات
صوتك، مما يسهل سماع الآخرين أثناء حديثك.

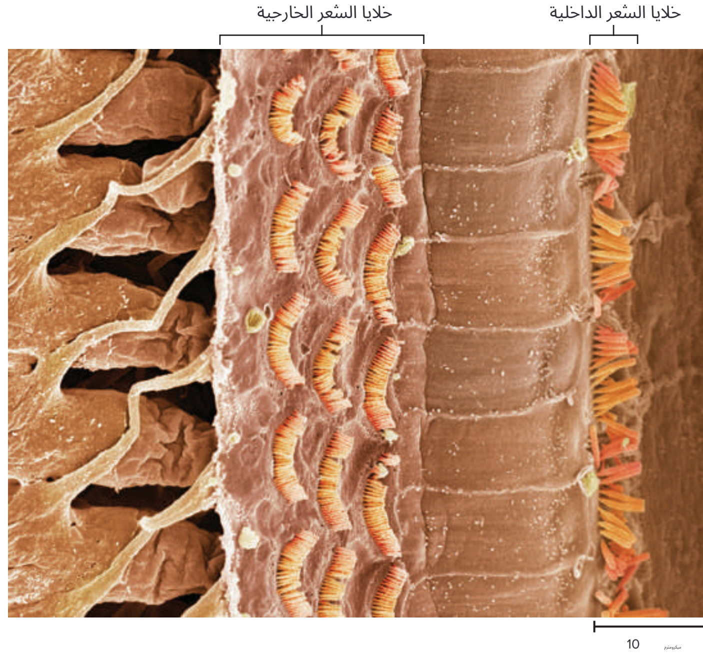
◀◀◀ طبق ما تعرفه

ما نوع ألياف العضلات—الأكسجينية البطيئة أم الجليكوليتية ال
سريعة)انظر الجدول 11.2(—التى تعتقد أنها تشكل العضلة الركا
بية والعضلة المشددة للغشاء الطبلى؟ أى نوع سيكون الأنسب لو
ظيفة هذه العضلات؟

تحفيز خلايا الشعر فى القوقعة

الخطوة التالية فى السمع تعتمد على حركة خلايا الشعر القوقعية بالن
سبة للهياكل الثابتة القريبة. فى هذا القسم، سنرى كيف تحرك حركا
ت سوائل الأذن الداخلية وغشاء القاعدة خلايا الشعر ولماذا من المهم
أن يبقى الغشاء القمى بالقرب من خلايا الشعر ثابتًا نسبيًا.

يمكن لنموذج ميكانيكى بسيط للأذن أن يساعد فى تصور كيفية
حدوث ذلك)الشكل 16.16(.)تم حذف الغشاء الدهليزى من النموذ
ج للبساطة؛ فهو لا يؤثر على ميكانيكا السمع.(أثناء استماعك إلى مو
سيقاك المفضلة، كل حركة دخول لغشاء الطبلة تدفع عظيمات الأذن
الوسطى إلى الداخل. العظم الركابى، بدوره، يدفع على السائل المحيط
فى القناة الدهليزية. السائل المحيط، مثل السوائل الأخرى، لا يمكن
ضغطه، لذا يتدفق بعيدًا عن قاعدة العظم الركابى. الضغط الناتج فى ا
لقناة الدهليزية يدفع الغشاء الدهليزى إلى الأسفل؛ هذا يدفع السائل ا
لداخلى فى قناة القوقعة؛ السائل الداخلى يدفع إلى الأسفل على غشاء
القاعدة؛ غشاء القاعدة يدفع على السائل المحيط فى القناة الطبيلية؛



الشكل 16.15 الأسطح القمية لخلايا الشعر القوقعية. جميع
الإشارات التى نسمعها تأتى من خلايا الشعر الداخلية على اليمين.

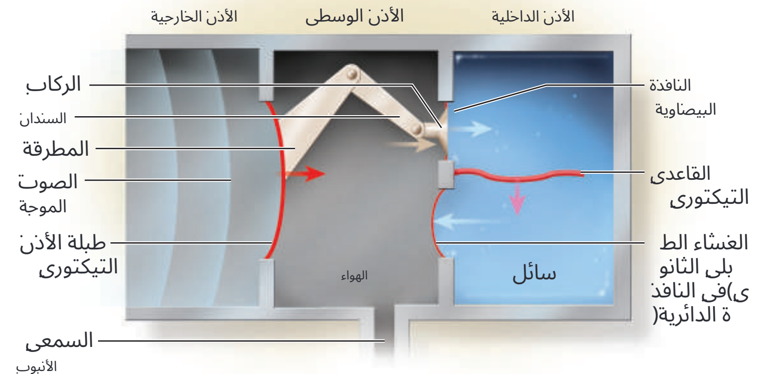
ما وظيفة الصفوف الثلاثة من خلايا الشعر على اليسار؟

SPL/Science Source

الأذن الوسطى

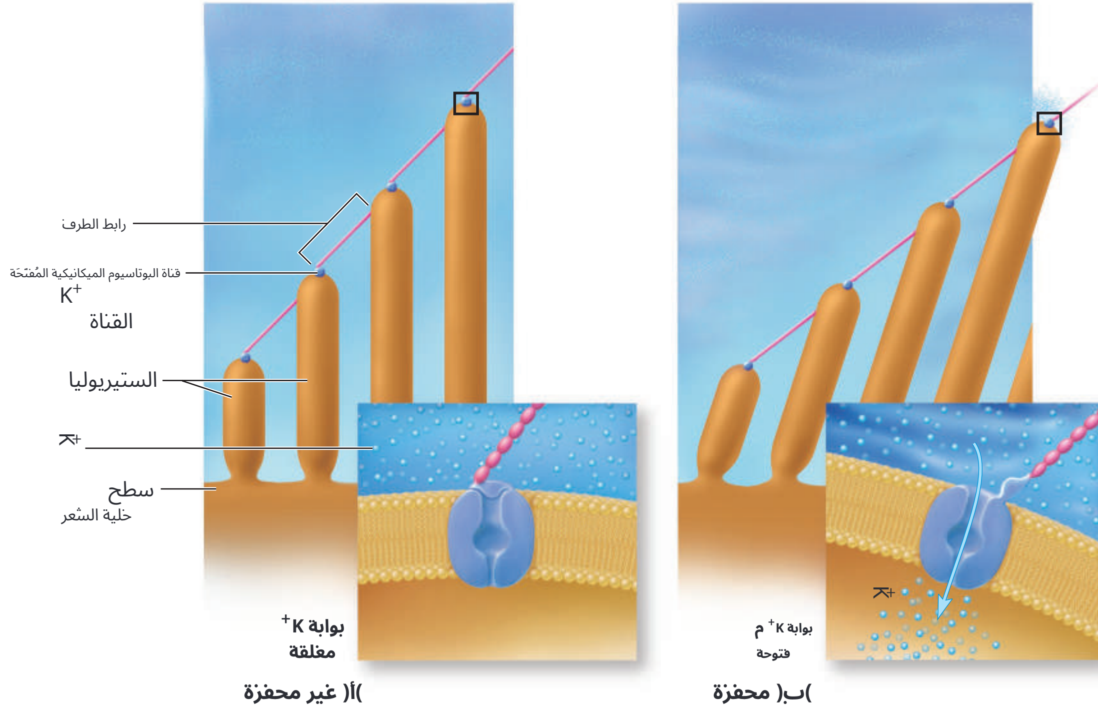
قد يتساءل المرء لماذا لدينا أذن وسطى على الإطلاق—لماذا لا تهتز ا
لغشاء الطبلى ببساطة مقابل المتاهة المملوءة بالسائل فى الأذن الدا
خلية. السبب هو أن الغشاء الطبلى، الذى يتحرك فى الهواء، يهتز بسه
ولة، فى حين يجب على الركاب أن يدفع ضد السائل المحيط)البيريلي
مف(فى الأذن الداخلية. هذا السائل أصعب بكثير فى الحركة من الهو
اء. إذا كان الغشاء الطبلى يحتوى على هواء من جهة وسائل من الجهة
الأخرى، فلن تمتلك موجات الصوت طاقة كافية لتحريك السائل بش
كل كافٍ. ومع ذلك، فإن مساحة الغشاء الطبلى أكبر 18 مرة من مسا
حة النافذة البيضاوية. من خلال تركيز طاقة الغشاء الطبلى المهتز على
مساحة تعادل فقط واحدًا من ثمانية عشر من تلك المساحة، تخلق ال
عظمات قوة أكبر لكل وحدة مساحة عند النافذة البيضاوية وتتغلب ع
لى قصور السائل.
مع ذلك، لا توفر العظمات السمعية أى ميزة ميكانيكية أو تضخي
م للصوت. اهتزازات الركاب ضد الأذن الداخلية عادةً ما تكون بنفس
سعة اهتزازات الغشاء الطبلى ضد المطرقة. فلماذا إذن وجود نظام را
فعة مكون من ثلاث عظمات؟ لماذا لا يكون هناك عظمة واحدة فقط
تركز الطاقة الميكانيكية للغشاء الطبلى مباشرة على الأذن الداخلية؟

الجواب هو أن العظمات تعمل أحيانًا على *تقليل* نقل الطاقة إلى ا
لأذن الداخلية. فهى وعضلاتها تؤدى وظيفة حماية. استجابةً للضوضاء
العالية، يقوم العضلة المشددة للغشاء الطبلى بسحب الغشاء الطبلى
إلى الداخل وشده، بينما تقلل العضلة الركابية من حركة الركاب. هذا ا
لانعكاس الطبلى يخفف من نقل الاهتزازات إلى النافذة البيضاوية. ر
بما تطور هذا الانعكاس جزئيًا للحماية من الأصوات الطبيعية العالية ا
لتى تتصاعد ببطء مثل الرعد. يمتلك الانعكاس فترة تأخير تبلغ حوالى
40 مللى ثانية، وهى ليست سريعة بما يكفى لحماية الأذن الداخلية م
ن الأصوات الصناعية المفاجئة مثل إطلاق النار.



الشكل 16.16 النموذج الميكانيكى للسمع.

لماذا يؤدى ارتفاع ضغط الهواء فى الأذن الوسطى إلى تقليل
حركات الغشاء القاعدى فى الأذن الداخلية؟



الشكل 16.17 قنوات البوتاسيوم فى خلايا الشعر القوقعية. لكل ستيريوليوم قناة K^+ عند طرفه، موضحة فى الصندوق الأسود الصغير.)أ(خلية شعر فى حالة راحة، غير محفزة، مع إغلاق بوابات البوتاسيوم.)ب(خلية شعر محفزة، حيث تُسحب بوابة البوتاسيوم لكل ستيريوليوم مفتوحة بواسطة الرابط الطرفى ا لمؤدى إلى الستيريوليوم الأعلى التالى.

خيط بروتينى رفيع ومرن يسمى رابط الطرف يمتد مثل نابض من قنا ة الأيونات فى ستيروسيليوم واحد إلى الجدار الجانبى للستيروسيليوم ا لأطول المجاور له)الشكل 16.17(. تزداد الستيروسيليا تدريجيًا فى ا لطول، لذا كل ستيروسيليوم ما عدا الأطول لديه رابط طرف يؤدى إلى ستيروسيليوم أطول بجانبه.

ماذا عن الغشاء القمى؟ هذا الهيكل البارز فى العضو الحلزونى م ثبت فى نواة القوقعة ويظل ثابتًا نسبيًا بينما ترقص خلايا الشعر صعو دًا وهبوطًا على إيقاع الموسيقى. فى كل مرة يرتفع الغشاء القاعدى نح و الغشاء القمى، تُدفع ستيروسيليا خلايا الشعر ضد ذلك الغشاء وتمي ل نحو الأطول منها. عندما ينحنى كل ستيروسيليوم أطول، يشد رابط الطرف الخاص بجاره. رابط الطرف، المتصل ببوابة الأيونات للستيرو سيليوم الأقصر التالى، يفتح البوابة ويسمح للأيونات بالتدفق إلى داخ ل الخلية. البوابة غير انتقائية، ولكن بما أن الأيون السائد فى الإندوليم ف هو K^+، فإن التأثير الأساسى لهذا الفتح هو السماح بتدفق سريع لـ K^+ إلى داخل خلية الشعر.

هذا يسبب إزالة استقطاب خلية الشعر أثناء فتح البوابة، وعندما ينخ فض الغشاء القاعدى وينحنى الستيروسيليوم فى الاتجاه المعاكس، تُغلق البوابة وتصبح الخلية مفرطة الاستقطاب لفترة وجيزة. خلال كل لحظة إزالة استقطاب، تطلق خلية الشعر دفعة من الناقل العصبى م ن قاعدتها، مما يثير التغصن الحسى الذى يشكل المشبك مع خلية ا لشعر. وبالتالى، يولد كل إزالة استقطاب إشارة فى العصب القوقعى.

لتلخيص: كل حركة صعودية للغشاء القاعدى تدفع خلايا الشعر ال داخلية أقرب إلى الغشاء القمى الثابت. هذا يجبر الستيروسيليا على ا لانحناء فى اتجاه

وأخيرًا، ينتفخ الغشاء الطبلى الثانوى إلى الخارج لتخفيف الضغط.مع ا ستمرار دورة الاهتزاز، يسحب الركاب نفسه بعيدًا عن النافذة البيضاو ية ويحدث كل هذا بالعكس.

باختصار، بينما يتحرك الركاب داخلًا-خارجًا-داخلًا، يتحرك الغشاء الطبلى الثانوى خارجًا-داخلًا-خارجًا، وتتحرك الغشاء القاعدى للأسفل- للأعلى-للأسفل. ليس من الصعب رؤية كيف يحدث هذا—الشيء الو حيد الصعب تخيله هو أنه يمكن أن يحدث بمعدل يصل إلى 20000 مرة فى الثانية! الأمر المهم فى كل هذا هو أن خلايا الشعر، المثبتة عل ى الغشاء القاعدى، تتحرك معه، تتأرجح لأعلى ولأسفل مع حركة الغ شاء القاعدى.

لفهم كيف يؤدى كل هذا إلى إثارة كهربائية لخلايا الشعر، يجب ع لينا على ما يبدو أن ننحرف للحظة لفحص أطراف خلايا الشعر. هذه الأ طراف مغمورة فى سائل غنى بالبوتاسيوم، وهو الإندوليمف. لماذا هذا السائل غنى جدًا بالبوتاسيوم، ولماذا هذا مهم؟

تُفرز أيونات البوتاسيوم)K^+(إلى الإندوليمف بواسطة الخلايا المح يطة بمحيط قناة القوقعة)على الجدار المقابل للمدولوس(. تحتفظ الغ شاء الدهليزى بهذا السائل داخل القناة. مقارنةً بالبيريليمف، يمنح هذا K^+ الإندوليمف جهدًا كهربائيًا يبلغ حوالى +80 مللى فولت، فى حين أ ن داخل خلية الشعر هو −40 مللى فولت. وبالتالى هناك تدرج كيميائ ى كهربائى قوى جدًا من الإندوليمف إلى سيتوبلازم خلية الشعر.

يوفر هذا التدرج الطاقة الكامنة التى تمكن فى النهاية خلية الشعر من العمل.

فى خلايا الشعر الداخلية — التى تولد جميع الإشارات التى نسمع ها — يحتوى كل ستيروسيليوم على بروتين عابر للغشاء فى طرفه يعم ل كقناة أيونية ميكانيكية التحكم

استجابةً للصوت، ترسل خلايا الشعر الخارجية إشارات إلى النخاع
المستطيل عبر الخلايا العصبية الحسية، ويرسل الجسر إشارات فورًا إ
لى خلايا الشعر الخارجية عبر الخلايا العصبية الحركية.
استجابة لذلك، تقصر خلايا الشعر بمقدار يصل إلى 15%. تذكر أن خل
ية الشعر الخارجية مثبتة بالغشاء القاعدى أدناه وبشعيراتها)الستيريو
سيليا(بالغشاء الغطائى أعلاه. لذلك، يؤدى توتر خلية الشعر الخارجية إ
لى تقليل حركة الغشاء القاعدى. ينتج عن ذلك أن بعض مناطق القوق
عة ترسل إشارات أقل إلى الدماغ مقارنة بالمناطق المجاورة، مما يمك
ن الدماغ من التمييز بشكل أفضل بين ترددات الصوت. عندما تُعطل
خلايا الشعر الخارجية تجريبيًا، تستجيب خلايا الشعر الداخلية)IHCs(
بدقة أقل بكثير للفروق فى النغمة.

هناك آلية أخرى لضبط القوقعة تتضمن خلايا الشعر الداخلية. ير
سل الجسر أليافًا صادرة إلى القوقعة تتشابك مع النهايات العصبية ال
حسية بالقرب من قاعدة خلايا الشعر الداخلية. يمكن للألياف الصادرة
أن تثبط إطلاق الخلايا العصبية الحسية فى بعض مناطق القوقعة، و
بالتالى تعزز التباين بين الإشارات من المناطق الأكثر استجابة والأقل ا
ستجابة. مع الدور الذى تم وصفه سابقًا لخلايا الشعر الخارجية، هذا ى
شحذ ضبط القوقعة وقدرتنا على التمييز بين النغمات.

مسار الإسقاط السمعى

تبدأ عمليات العصب الحسى عند قواعد خلايا الشعر وتنتهى إلى الخلا
يا العصبية الحسية ثنائية القطب. تشكل أجسام خلاياها لولبًا، وهو الع
قدة الحلزونية، حول الموديولوس)انظر الشكل 16.14(، وتمتد محاوره
ا العصبية بعيدًا عن القوقعة كالعصب القوقعى.
ينضم هذا العصب إلى العصب الدهليزى، الذى سيناقش لاحقًا، ويصبح الا
ثنان معًا العصب الدهليزى القوقعى)العصب القحفى الثامن(.
يرسل كل أذن أليافًا إلى جانبى النخاع المستطيل.
هناك، تنتهى فى النوى القوقعية، متشابكة مع الخلايا العصبية من الد
رجة الثانية التى تصعد إلى النواة الزيتونية العلوية.



نظرة أعمق 16.2

التطبيق السريرى

الصمم

الصمم يعنى أى فقدان للسمع، من خفيف ومؤقت إلى كامل ولا رجعة فيه. الصم
م التوصيلى ينتج عن أى حالة تعيق انتقال الاهتزازات إلى الأذن الداخلية. تشمل ه
ذه الحالات تمزق غشاء الطبلة، التهاب الأذن الوسطى، انسداد قناة السمع، وتصل
ب الأذن.

تصلب الأذن هو اندماج عظيمات السمع مع بعضها البعض أو اندماج الركاب مع ا
لنافذة البيضاوية. فى كلتا الحالتين، يمنع العظام من الاهتزاز بحرية. الصمم الحس
ى العصبى ينتج عن موت خلايا الشعر أو أى من العناصر العصبية، من العصب ال
قوقعى إلى نسيج الدماغ، المعنية بالسمع. وهو مرض مهنى شائع بين عمال الم
صانع والبناء، والموسيقيين، وغيرهم من الأشخاص المعرضين لأصوات عالية م
تكررة أو مستمرة. يؤدى الصمم ببعض الأشخاص إلى تطوير أوهام بأنهم يُتحدث ع
نهم أو يُنتقص منهم أو يُخدعون. قال بيتهوفن إن صممه دفعه تقريبًا إلى الانتحار.

32 oto = الأذن؛ scler = تصلب؛ osis = عملية، حالة

الأطول. كل ستيريوسيليوم يحتوى على وصلة طرفية تربطه بقناة أيون
ية فى قمة الستيريوسيليوم الأقصر التالى. عندما ينحنى الأطول، فإنه
يسحب القناة لفتحها. تتدفق أيونات البوتاسيوم إلى خلية الشعر وتحد
ث إزالة استقطاب لها. تطلق خلية الشعر دفعة من الناقلات العصبية،
مما يثير العمليات الحسية لخلايا العصب القوقعى أسفلها. وهكذا ى
تم توليد إشارة فى العصب القوقعى ونقلها إلى الدماغ.

الترميز الحسى

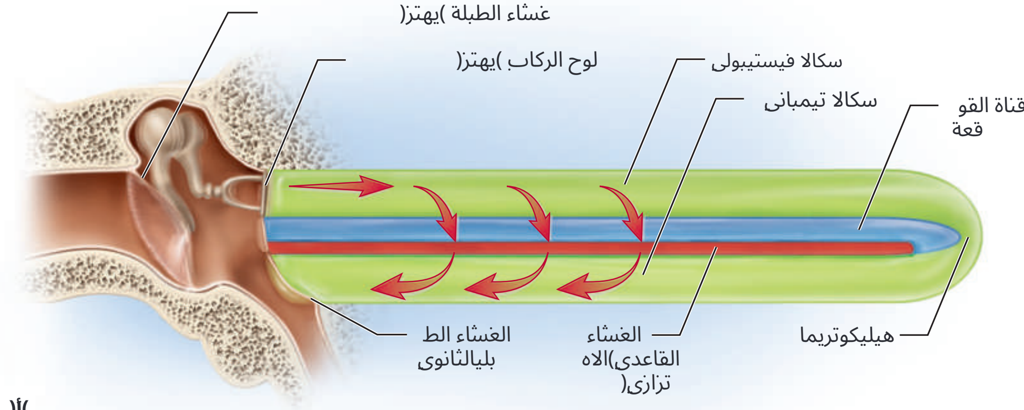
لكى تحمل الأصوات أى معنى، يجب أن نميز بين الاختلافات فى ال
شدة والنغمة. تنبع قدرتنا على ذلك من حقيقة أن القوقعة تستجيب
بشكل مختلف للأصوات ذات السعة والتردد المختلفين. تؤدى التغيرا
ت فى الشدة)السعة(إلى تغيرات فى شدة اهتزاز القوقعة. ينتج الصو
ت الناعم حركات صعود وهبوط طفيفة نسبيًا فى الغشاء القاعدى. تُح
فز خلايا الشعر بشكل معتدل فقط، ويحفز تردد صوت معين خلايا ال
شعر فى منطقة محدودة نسبيًا أو مركزة من القوقعة. يجعل الصوت ا
لأعلى الغشاء القاعدى يهتز بشكل أكثر قوة. تستجيب خلايا الشعر ب
شكل أكثر كثافة، مولدة تردد إطلاق أعلى فى العصب القوقعى. بالإضا
فة إلى ذلك، بالنسبة لتردد معين، يهتز الصوت العالى على جزء أطول
من الغشاء القاعدى وبالتالى يثير عددًا أكبر من خلايا الشعر. إذا اكتش
ف الدماغ معدلات إطلاق معتدلة مرتبطة بخلايا الشعر فى نطاقات
ضيقة نسبيًا من القوقعة، فإنه يفسر ذلك كصوت ناعم. وإذا اكتشف
تردد إطلاق عالٍ فى الألياف العصبية المرتبطة بنطاقات أوسع، فإنه ى
فسر ذلك كصوت أعلى.

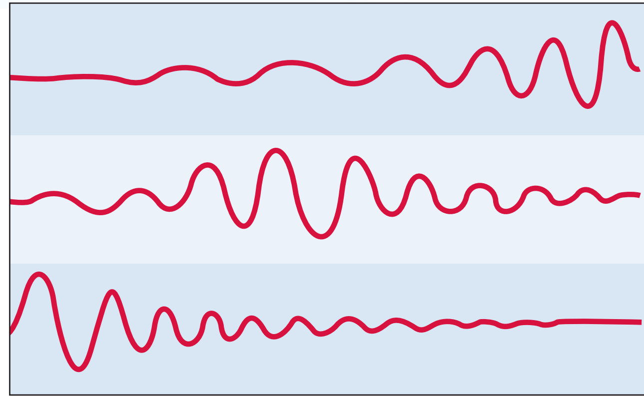
التمييز الترددى يعتمد على تدرج هيكلى فى الغشاء القاعدى يش
به تدرج الصوت فى البيانو من الأوتار القصيرة إلى الأوتار الطويلة. فى
نهايته القريبة)قاعدة القوقعة(، يكون الغشاء مثبتًا، ضيقًا، وصلبًا، م
ثل أوتار البيانو القصيرة. فى نهايته البعيدة)قمة القوقعة(، يكون غير م
ثبت، أوسع بخمس مرات، وأكثر مرونة. فكر فى الغشاء القاعدى كمكا
فئ لسلك مشدود بإحكام بين عمودين. إذا قمت بنقر السلك من أحد
الطرفين، تنتقل موجة اهتزاز على طوله وتعود.

هذا ينتج موجة ثابتة، حيث تتحرك بعض مناطق السلك عموديًا أكثر
من غيرها. بالمثل، يسبب الصوت موجة ثابتة فى الغشاء القاعدى. ى
كون ذروة سعة هذه الموجة بالقرب من الطرف البعيد فى حالة الأصوا
ت منخفضة التردد وأقرب إلى الطرف القريب مع الأصوات ذات الترد
دات الأعلى. عندما يستقبل الدماغ إشارات بشكل رئيسى من خلايا ال
شعر الداخلية فى الطرف البعيد، يفسر الصوت على أنه منخفض النغ
مة؛ وعندما تأتى الإشارات بشكل رئيسى من الطرف القريب، يفسر ا
لصوت على أنه عالى النغمة)الشكل 16.18(. بالطبع، الكلام والموسى
قى والأصوات اليومية الأخرى ليست نغمات نقية—إنها تخلق أنماط ا
هتزاز معقدة ومتغيرة باستمرار فى الغشاء القاعدى يجب على الدماغ
فك شفرتها.

ضبط القوقعة

تمامًا كما نضبط الراديو لاستقبال تردد معين، نضبط أيضًا قوقعتنا لا
ستقبال بعض الترددات بشكل أفضل من غيرها. خلايا الشعر الخارج
ية)OHCs(مزودة ببعض الألياف الحسية)5% إلى 10% من تلك الم
وجودة فى العصب القوقعى(، ولكن الأهم من ذلك، أنها تستقبل أليا
فًا حركية من الدماغ.





النهاية القريبة
)مرفقة(

النهاية البعيدة
)حرة(

20,000 5,000 1,000 500 200 هرتز

)ح(

الشكل 16.18 استجابة التردد لغشاء القاعدة فى القوقعة.)أ(القوقعة، غير ملفوفة وممدودة بشكل مستقيم.)ب(تنتج الأصوات موجة ثابتة من الاهتزاز على طو ل غشاء القاعدة. تختلف سعة ذروة الموجة مع تردد الصوت، كما هو موضح هنا. تم تضخيم مقدار الاهتزاز بشكل كبير فى هذا الرسم لتوضيح الموجة الثابتة.)ح(تضيق غشاء القاعدة وعلاقته بترددات الصوت. يتم الكشف عن الترددات العالية)7000–20000 هرتز(بشكل أفضل بواسطة خلايا الشعر بالقرب من ال طرف القريب الضيق على اليسار، والترددات المنخفضة)20–800 هرتز(بواسطة خلايا الشعر بالقرب من الطرف البعيد الأعرض على اليمين.

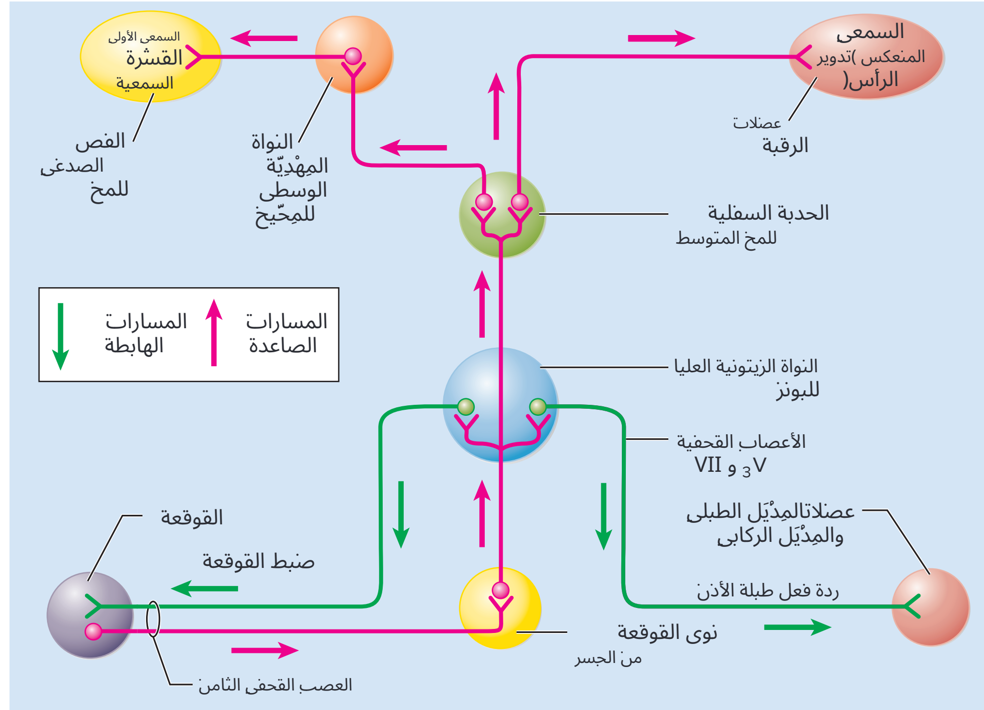
صوت فى الفضاء، يعالج تقلبات النغمة التى تكون مهمة لأغراض م ثل فهم كلام شخص آخر، ويُوسط استجابة الارتجاح والدوران السريع للرأس التى تحدث ردًا على الأصوات العالية أو المفاجئة.

تبدأ الخلايا العصبية من الدرجة الثالثة فى التلال السفلية وتؤدى إ لى المهاد. تكمل الخلايا العصبية من الدرجة الرابعة المسار من هناك إ لى القشرة السمعية الأولية؛ وبالتالى فإن المسار السمعى، على عكس معظم المسارات الحسية الأخرى، يشمل أربع خلايا عصبية من المس تقبل إلى القشرة الدماغية وليس ثلاثًا. تقع القشرة السمعية الأولية ف ى الحافة العلوية للفص الصدغى وتمتد بعمق إلى الأخدود الجانبى)ا نظر الشكل 14.20(. الفص الصدغى

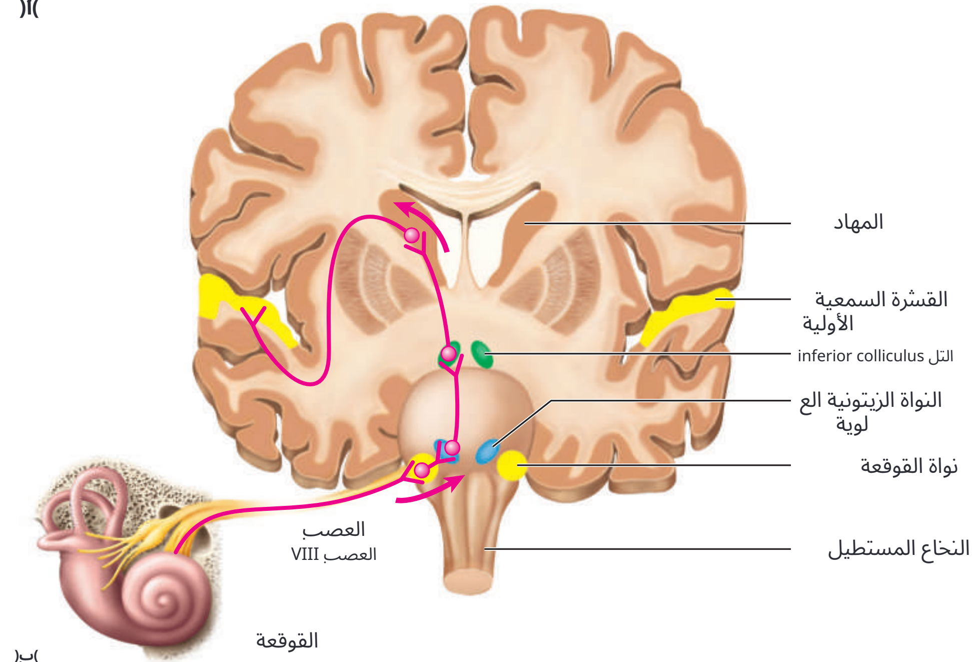
الجسر)الشكل 16.19(. عبر العصب القحفى الثامن)CN VIII(، يصد ر النواة الزيتونية العلوية الألياف الصادرة إلى القوقعة المشاركة فى ضبط القوقعة. وعبر الأعصاب القحفية الخامس3والسابع، يصدر أيضًا أليافًا حركية إلى عضلات التنسور الطبلى والركاب على التوالى. كما تعمل النواة الزيتونية العلوية فى السمع ثنائى الأذنين [33]—مقارنة الإ شارات من الأذن اليمنى واليسرى لتحديد الاتجاه الذى يأتى منه الصو ت.

تصعد ألياف أخرى من نوى القوقعة إلى التلال السفلية فى الدما غ المتوسط. تساعد التلال فى تحديد مصدر

[33] *bin* = اثنان؛ *aur* = أذنان



(أ)



(ب)

الشكل 16.19 المسارات السمعية فى الدماغ. (أ) مخطط. (ب) جذع الدماغ والمقطع الأمامى للمخ. يظهر مواقع مراكز معالجة السمع. هذا الشكل يستثنى المسار الصادر لضبط القوقعة. (العصب القحفى الخامس$_3$ = العصب الثلاثى التوائم، القسم الفكى السفلى؛ CN VII = العصب الوجهى؛ CN VIII = العصب الدهليزى القوقعى)

هياكل الأذن الخارجية والوسطى، والوظيفة السمعية للأذن. فى البشر، تشكل المستقبلات الخاصة بالتوازن الجهاز الدهليزى، الذى يتكون م ن ثلاثة قنوات نصف دائرية وغرفتين— حويصلة أمامية (saccule) وحويصلة خلفية[34] (utricle)[35] (انظر الشكل 16.13).

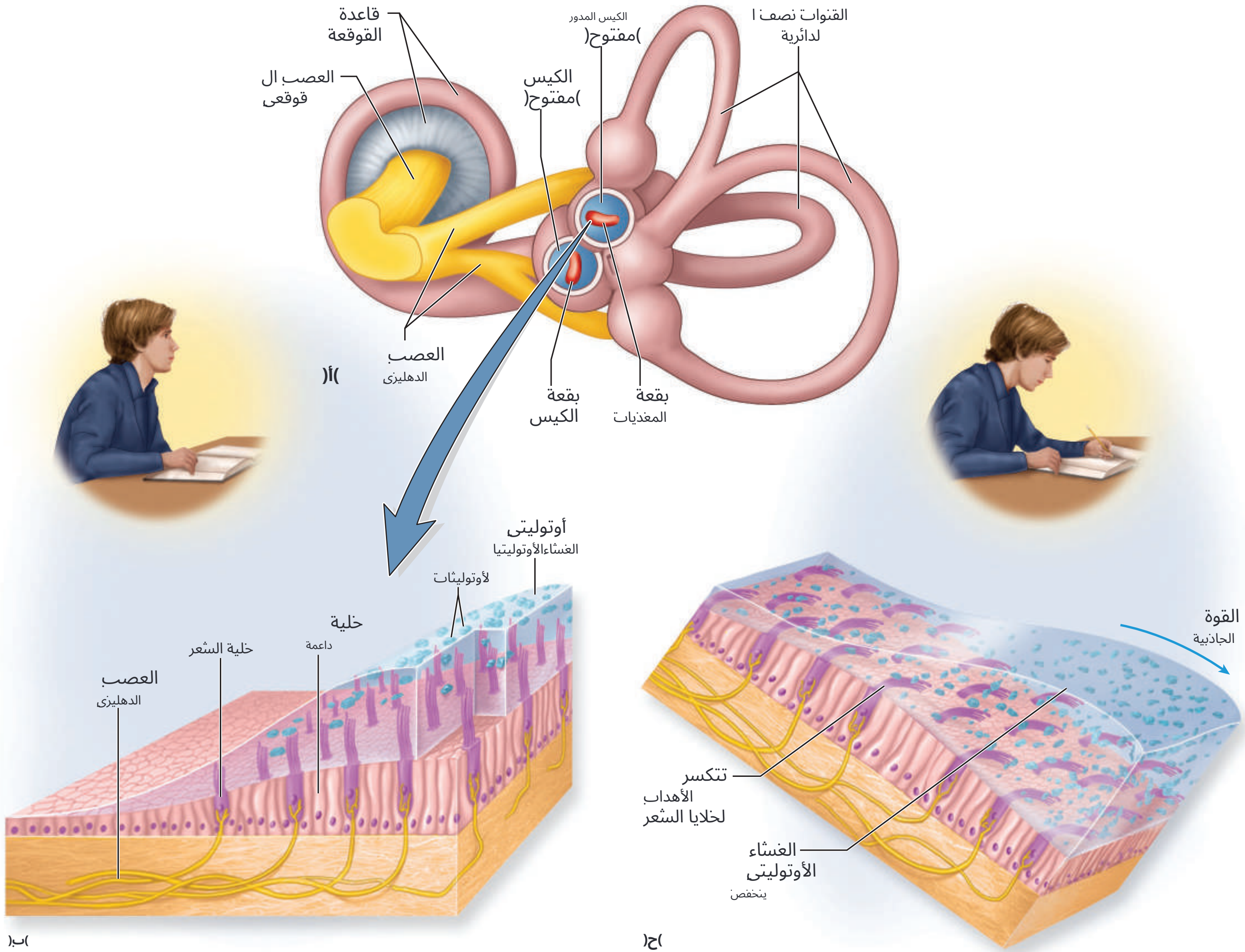
ينقسم الإحساس بالتوازن إلى توازن ثابت، وهو إدراك اتجاه الرا س فى الفضاء (سواء كان

[34] حويصلة (saccule) = كيس صغير
[35] حويصلة (utricle) = كيس صغير

هو موقع الإدراك الواعى للصوت، ويكمل معالجة المعلومات الضرور ية للسمع الثنائى الأذنين. بسبب التداخل الواسع فى المسار السمعى ، فإن الضرر فى القشرة السمعية اليمنى أو اليسرى لا يسبب فقدان ا لسمع من جانب واحد.

16.4د فسيولوجيا التوازن

كانت الوظيفة الأصلية للأذن فى تطور الفقاريات ليست السمع، بل ا لتوازن. فقط فى وقت لاحق تطورت القوقعة لدى الفقاريات،



الشكل 16.20 الكيس والكيس المدور.)أ(مواقع بقعة الكيس وبقعة الكيس المدور.)ب(تركيب البقعة.)ح(تأثير غشاء الأوتوليثيك على خلايا الشعر عند إمالة الرأس.

كل خلية شعر فى البقعة تحتوى على 40 إلى 70 شعيرة دقيقة وه دب حقيقى واحد يُسمى الهدب الكينى.[37] أطراف الشعيرات الدقيقة و الهدب الكينى مغمورة فى غشاء هلامى غشاء الأوتوليث. هذا الغشاء مثقل بحبيبات من بروتين-كربونات الكالسيوم تُسمى الأوتوليثات[38])ا لشكل 16.20ب(، والتى تضيف إلى قصور الغشاء وتعزز إحساس الجا ذبية والحركة.

يوضح الشكل 16.20ح كيف تكشف بقعة الكيس المدور عن ميل الرأس. عندما يكون الرأس منتصبًا، يتحمل غشاء الأوتوليث الوزن مباشرة على خلايا الشعر، ويكون التحفيز ضئيلًا. ولكن عند ميل رأسك للأسفل لقراءة كتاب، يغوص غشاء الأوتوليث الثقيل ويثنى الشعيرات الدقيقة، مما يحفز خلايا الشعر. أى اتجاه لرأسك يسبب مزيجًا من التحفيز للكيس والكيس المدور فى الأذنين الاثنتين. يفسر الدماغ اتجاه الرأس من خلال مقارنة هذه المدخلات بعضها ببعض وبمدخلات أخرى من العينين.

يكون منتصبًا أو مائلًا فى أى اتجاه(، والتوازن الديناميكى، وهو إدراك ا لحركة أو التسارع. هناك نوعان من التسارع:)1(*التسارع الخطى*، وهو تغير فى السرعة على خط مستقيم، كما عند الركوب فى سيارة أو م صعد؛ و)2(*التسارع الزاوى*، وهو تغير فى معدل الدوران، كما عند دورا ن سيارتك فى زاوية أو التفافك على كرسى دوار. الكيس والكيس المد ور مسؤولان عن التوازن الساكن وإحساس التسارع الخطى؛ بينما الق نوات نصف الدائرية تكشف فقط عن التسارع الزاوى.

الكيس والكيس المدور

يحتوى كل من الكيس والكيس المدور على رقعة من خلايا الشعر وخلايا داعمة تُسمى البقعة.[36] تقع بقعة الكيس تقريبًا عموديًا على جدار الكيس، وتقع بقعة الكيس المدور تقريبًا أفقيًا على أرضية الكيس المدور)الشكل 16.20أ(.

[37] *كينو* = يتحرك
[38] *وتو* = أذن؛ *ليث* = حجر

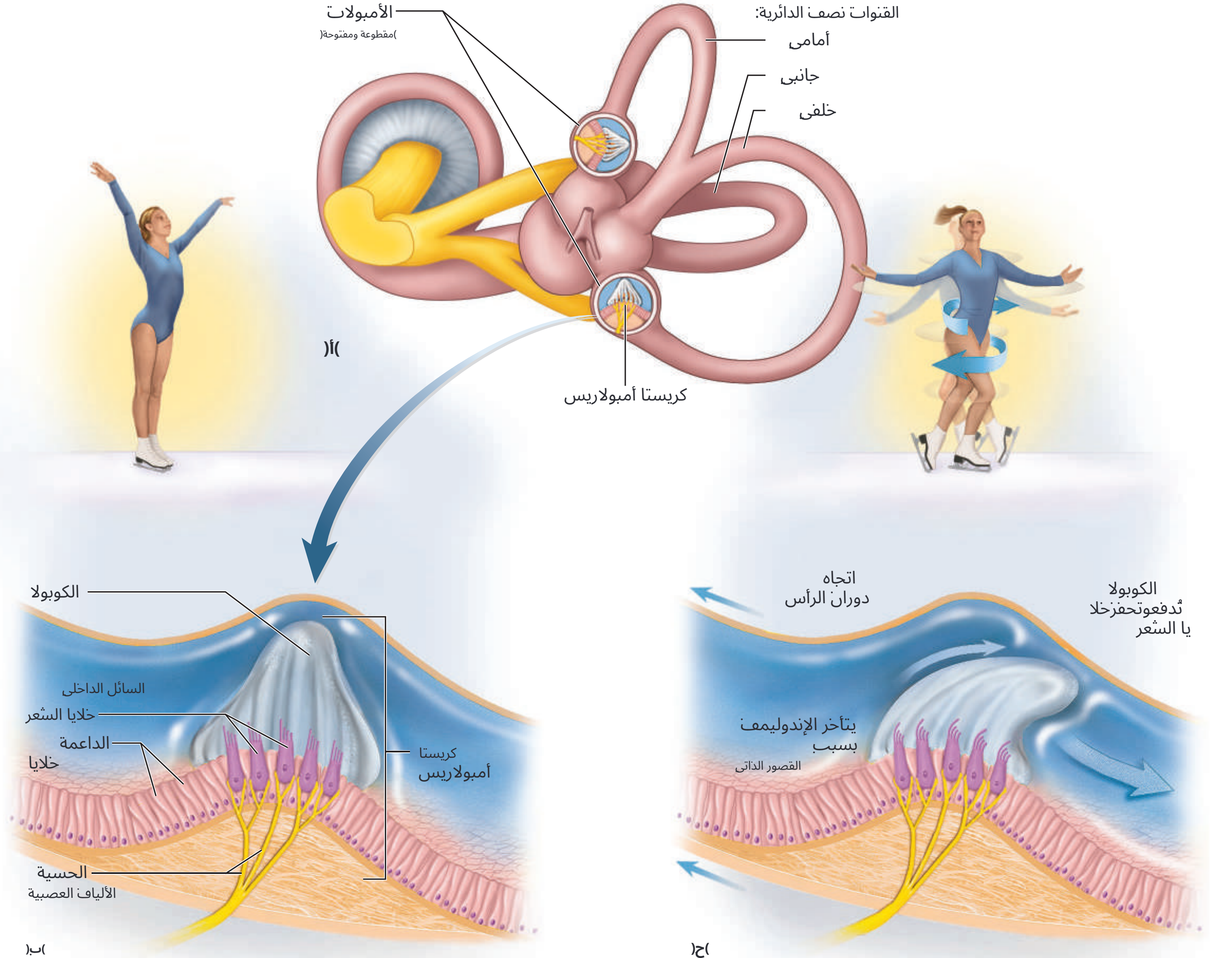
[36] *البقعة* = بقعة

يتوقف المصعد، يستمر الغشاء فى الحركة للحظة وينحنى الشعر إلى ا
لأعلى. فى كلتا الحالتين، تُحفز خلايا الشعر ويُبلغ الدماغ بحركاتك العم
ودية. هذه الحواس مهمة فى أفعال عادية مثل الجلوس، وكذلك عندم
ا يتحرك رأسك صعودًا وهبوطًا أثناء المشى والجرى.

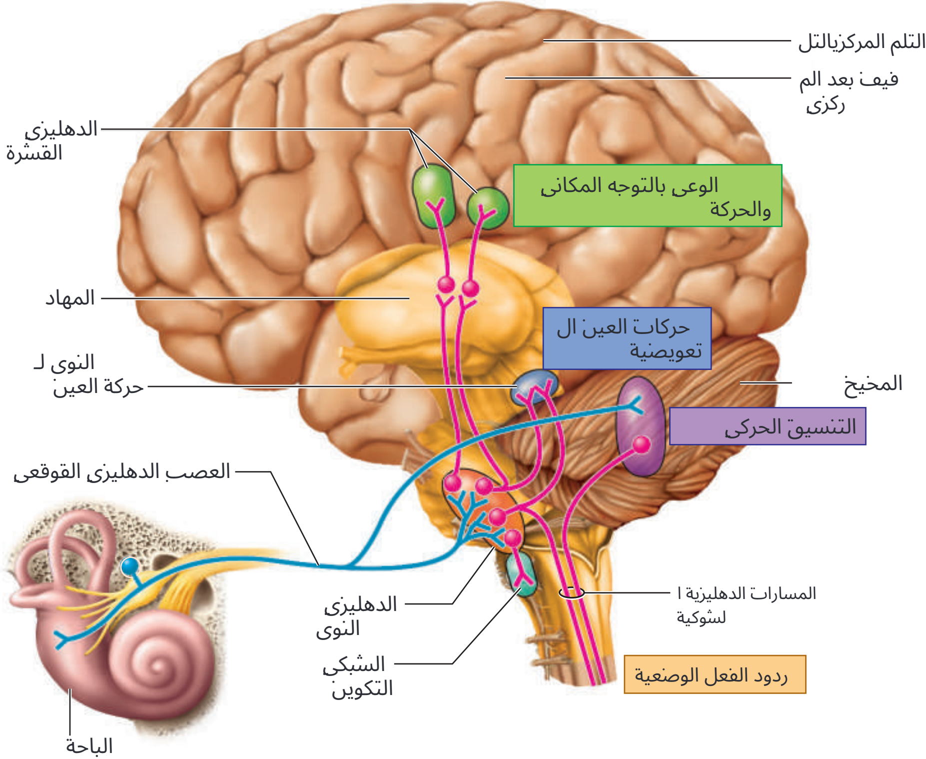
القنوات نصف الدائرية

يتعرض الرأس أيضًا لحركات دورانية، مثل عندما تدور على كرسى دوا
ر، تمشى فى ممر وتلف عند زاوية، أو تنحنى إلى الأمام لالتقاط شىء
من الأرض. تُكتشف هذه الحركات بواسطة القنوات نصف الدائرية ال
ثلاث)الشكل 16.21(، الموجودة فى القنوات العظمية نصف الدائر
ية لعظم الصدغى. القناتان نصف الدائريتان الأمامية والخلفية موجه
تان عموديًا بزوايا قائمة على بعضهما البعض. القناة نصف الدائرية الح
انبية مائلة بحوالى 30° من

ومستقبلات الشد فى الرقبة، مما يتيح الكشف عما إذا كان الرأس فقط
مائلاً أو أن الجسم بأكمله يميل.
قصور كتلة الأغشية الأوتوليثية مهم بشكل خاص
فى اكتشاف التسارع الخطى. افترض أنك جالس فى سيارة عند
إشارة توقف ثم تبدأ فى الحركة. غشاء بقعة النوتريكولوس
يتأخر لفترة وجيزة خلف بقية الأنسجة، وينحنى الشعر الهدبى
إلى الخلف، ويحفز الخلايا. عندما تتوقف عند الإشارة التالية،
تتوقف البقعة لكن الغشاء الأوتوليثى يستمر فى الحركة للحظة،
وينحنى الشعر الهدبى إلى الأمام. تقوم خلايا الشعر بتحويل
هذا التحفيز إلى إشارات عصبية، وبالتالى يُبلغ الدماغ
بتغيرات سرعتك الخطية.
بقعة الساكولى تقف تقريبًا بشكل عمودى، ولذلك تستجيب خلايا الشعر فيها
للتسارع والتباطؤ العمودى. إذا كنت واقفًا
فى مصعد وبدأ يتحرك للأعلى، يتأخر غشاء بقعة الساكولى
لفترة وجيزة ويسحب الشعر إلى الأسفل. عندما



السشكل 16.21 القنوات نصف الدائرية.)أ(هيكل القنوات نصف الدائرية، مع فتح اثنتين من الأمبولات لإظهار كريستا أمبولاريس والكوبولا.)ب(تفاصيل كريستا أمبولاريس.)ح(تأثير الإندوليمف على الكوبولا وخلايا الشعر عند دوران الرأس.



الشكل 16.22 مسارات الإسقاط الدهليزى فى الدماغ.

المستوى الأفقى. يسبب اتجاه القنوات تحفيز قناة مختلفة عند دوران الرأس فى مستويات مختلفة.

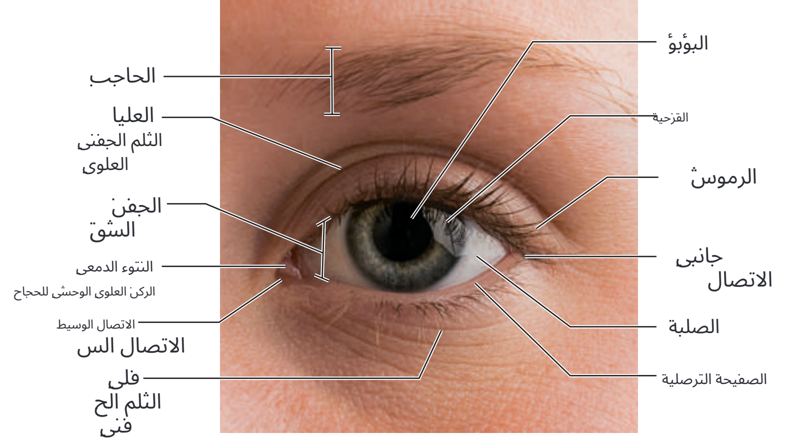
تمتلئ القنوات بالسائل الداخلى (الإندوليمف). تفتح كل واحدة منها فى الحويصلة ولها كيس متوسع فى أحد الطرفين يسمى الأمبولة.[39] داخل الأمبولة يوجد كتلة من خلايا الشعر والخلايا الداعمة تسمى الكريستا الأمبولارية.[40] تحتوى خلايا الشعر على ستيريوسيليا وكنوسيليوم مدمجين فى الكوبولا,[41] وهى غطاء هلامى يمتد من الكريستا إلى سقف الأمبولة. عند دوران الرأس، تدور القناة لكن الإندوليمف يتأخر فى الحركة. يدفع الكوبولا، وينحنى الستيريوسيليا، ويحفز خلايا الشعر. بعد 25 إلى 30 ثانية من الدوران المستمر، يلحق الإندوليمف بحركة القناة ويتوقف تحفيز خلايا الشعر.

مسارات الإسقاط

تتشابك خلايا الشعر فى بقعة الساكولى، وبقعة الأوتريكولى، والقنوات نصف الدائرية عند قواعدها مع النهايات الحسية للعصب الدهليزى. يندمج هذا العصب مع العصب القوقعى لتشكيل العصب الدهليزى القوقعى (العصب القحفى الثامن). تؤدى ألياف الجهاز الدهليزى إلى مجمع من أربعة أنوية دهليزية على كل جانب من الجسر والنخاع المستطيل. تتواصل الأنوية على الجانبين الأيمن والأيسر من جذع الدماغ بشكل واسع مع بعضها البعض، لذا يستقبل كل منها مدخلات من الأذن اليمنى واليسرى. تعالج هذه الأنوية الإشارات المتعلقة بوضع وحركة الجسم وتنقل المعلومات إلى خمسة أهداف (الشكل 16.22):

1. المخيخ، الذى يدمج المعلومات الدهليزية فى التحكم بحركات الرأس، وحركات العين، ونغمة العضلات، والوضعية.
2. التشكيل الشبكى، الذى يُعتقد أنه يضبط التنفس ودوران الدم استجابةً لتغيرات الوضعية.
3. الحبل الشوكى، حيث تنزل الألياف عبر المسارين الدهليزيين الشوكيين على كل جانب (انظر الشكل 13.5) وتتصل على الخلايا العصبية الحركية التى تعصب عضلات الباسطات (مضادة للجاذبية). تتيح هذه المسارات لك القيام بحركات سريعة للجذع والأطراف للحفاظ على توازنك.
4. المهاد، الذى ينقل الإشارات إلى منطقتين من قشرة الدماغ. الأولى تقع فى الطرف السفلى من التلافيف بعد المركزية المجاورة للمناطق الحسية للوجه. هنا نصبح واعين بوعى بوضعية الجسم وحركته. المنطقة الأخرى تقع قليلاً أمام هذه، فى الطرف السفلى من الأخدود المركزى فى المنطقة الانتقالية من القشرة الحسية الأولية إلى القشرة الحركية. يُعتقد أن هذه المنطقة تشارك فى التحكم الحركى بالرأس والجسم.
5. نوى الأعصاب الحركية العينية، العصب البكرى، والعصب المبعد (الأعصاب القحفية III، IV، وVI). تنتج هذه الأعصاب حركات العين التى تعوض عن حركات الرأس (رد الفعل الدهليزى-العينى). *رد الفعل الدهليزى-العينى*). لملاحظة هذا التأثير، امسك كتابًا أمامك على مسافة قراءة مريحة وثبت نظرك على منتصف الصفحة. حرك الكتاب يمينًا ويسارًا بمعدل مرة واحدة فى الثانية، وربما لن تتمكن من قراءته. الآن ثبت الكتاب واهز رأسك من جانب إلى آخر بنفس المعدل. هذه المرة يجب أن تتمكن من قراءة الصفحة لأن رد الفعل الدهليزى-العينى يعوض عن حركات رأسك ويحافظ على تثبيت عينيك على الهدف. يتيح لك هذا الرد الحفاظ على رؤيتك مركزة على جسم بعيد أثناء المشى أو الجرى نحوه.

[39] *الأمبولة* = جرة صغيرة
[40] *الكريستا* = قمة، حافة
[41] *الكوبولا* = أنبوب صغير



الشكل 16.23 التشريح الخارجي لمنطقة الحجاج.

جو ديغرانديس / كين سالادين

- الحواجب مهمة في التعبير العاطفي، والتواصل من خلال النظر ة، والتعرف على الوجه. تُظهر أهمية حركتها امتلاكها لعضلات أو عصاب مخصصة خاصة بها — بطون العضلات الجبهية القذال ية (عضلات القذالي الجبهي) وفروع العصب الوجهي التي تعص بها. قد تحمي الحواجب أيضًا العينين إلى حد ما من العرق وتأ ثير ضوء الشمس الساطع.

- الجفون، أو الجفنين (palpebrae) (بال-بي-بري)، تمنع دخول ا لأجسام الغريبة إلى العين، وتمنع المؤثرات البصرية من إزعاج النو م، وترمش بشكل دوري لترطيب العين بالدموع وتنظيف السطح من ا لحطام. تفصل الجفون عن بعضها البعض الشق الجفني (palpebr al fissure) وتلتقي عند الزوايا التي تسمى الوصلات الوسطية (medial) والجانبية (lateral commissures). تتكون الج فن إلى حد كبير من عضلة المدورة للعين (orbicularis oculi) المغ طاة بالجلد (الشكل 16.24أ). كما يحتوي على صفيحة تارسية ليفية داعمة (tarsal plate) سميكة على طول حافة الجفن. داخل الصفيحة توجد 20 إلى 25 غدة تارسية (tarsal glan ds) تفتح على طول حافة الجفن. تفرز هذه الغد د زيتًا يغلف العين ويقلل من تبخر الدموع. الرموش هي شع يرات حامية تساعد على منع دخول الحطام إلى العين. لمس ا لرموش يحفز مستقبلات الشعر ويؤدي إلى رد فعل الرمش. كما تعيق تدفق الهواء عبر سطح العين، مما يحميها من الغبار وال جفاف. في الظروف العاصفة أو الممطرة، يمكننا أن نغمض ا لعينين جزئيًا بحيث تحمي الرموش العينين بشكل أكبر، دون أ ن تعيق الرؤية تمامًا.

- الملتحمة (conjunctiva) هي غشاء مخاطي شفاف يغطي ال سطح الداخلي للجفن والسطح الأمامي للعين، باستثناء القرنية. تفرز طبقة مخاطية رقيقة تمنع جفاف العين. هي غنية بالأع صاب وحساسة جدًا للألم. كما أنها غنية بالأوعية الدموية، وه و ما يظهر بوضوح عندما تتوسع الأوعية وتصبح العينان "محمر تان". وبما أن الملتحمة وعائية والقرنية ليست كذلك، فإن الم لتحمة تلتئم بشكل أسرع من القرنية عند الإصابة.

- جهاز الدمع (lacrimal apparatus) (الشكل 16.24ب) يتكون م ن غدة الدمع وسلسلة من القنوات التي تصرف الدموع إلى ال تجويف الأنفي. غدة الدمع، التي تشبه في الحجم والشكل اللو زة، تقع في حفرة ضحلة في عظم الجبهة.

---

lacrim[42] = دمعة

ل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

18. ما هي الخصائص الفيزيائية لموجات الصوت التي تتوافق مع الإحساس بالحدة والطبقة الصوتية؟
19. ما هي فوائد وجود عظيمات السمع والعضلات في الأذن الو سطى؟
20. اشرح كيف يؤدي اهتزاز غشاء الطبلة في النهاية إلى تقلبات في جهد الغشاء في خلية شعر القوقعة.
21. كيف يتعرف الدماغ على الفرق بين النغمة الموسيقية دو العال ي ودو المتوسط؟ وبين الصوت العالي والصوت المنخفض؟
22. كيف يختلف عمل الأقنية نصف الدائرية عن عمل الكيس والنتوء؟
23. كيف يشبه التحويل الحسي في الأقنية نصف الدائرية ذلك ف ي الكيس والنتوء؟

16.5 الرؤية

النتائج المتوقعة للتعلم

عندما تكمل هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف تشريح العين وهياكلها الملحقة؛
ب. مناقشة تركيب الشبكية وخلايا المستقبلات فيها؛
ج. شرح كيف ينشئ النظام البصري للعين صورة على الشبكية؛
د. مناقشة كيف تقوم الشبكية بتحويل هذه الصورة إلى إشارات عصبية؛
هـ. اشرح لماذا هناك حاجة لأنواع مختلفة من خلايا المستقبلات وا لدوائر العصبية للرؤية النهارية والليلية؛
و. وصف آلية رؤية الألوان؛ و
ز. تتبع مسارات الإسقاط البصري في الدماغ.

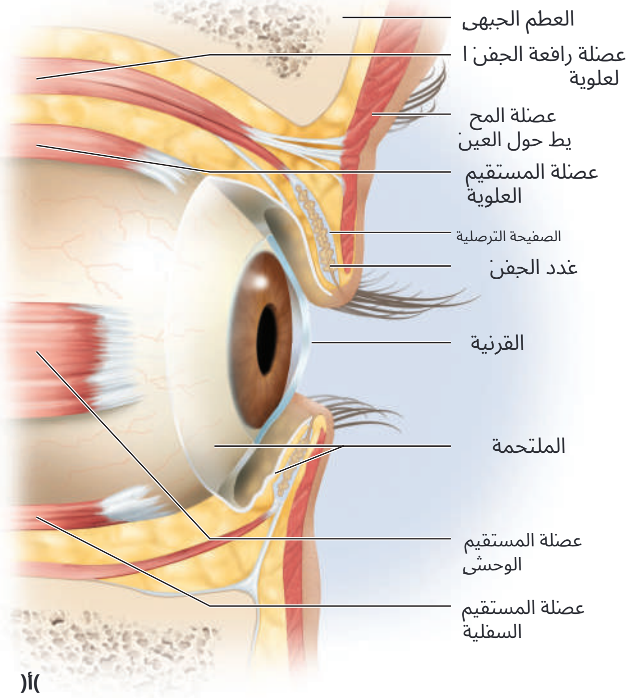
16.5a الضوء والرؤية

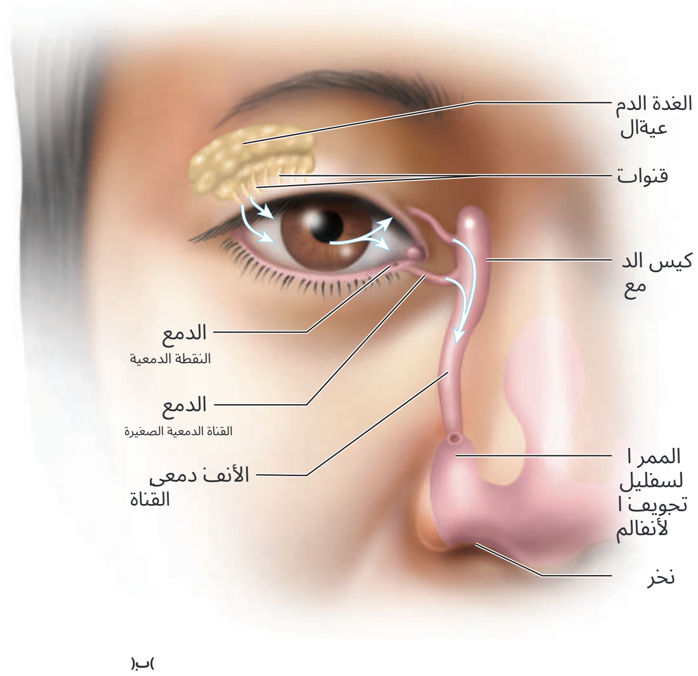
الرؤية (البصر) هي إدراك الأشياء في البيئة من خلال الضوء الذي تصد ره أو تعكسه. الضوء هو إشعاع كهرومغناطيسي مرئي. الرؤية البشرية محدودة بأطوال موجية تتراوح من حوالي 400 إلى 700 نانومتر. يتم ترشيح معظم الإشعاع الشمسي ذو الأطوال الموجية الأقصر والأطول بواسطة الأوزون وثاني أكسيد الكربون وبخار الماء في الغلاف الجوي. لذلك، فإن الإشعاع الذي يصل إلى سطح الأرض يقع ضمن هذا النطا ق، والرؤية متكيفة لاستغلال الأطوال الموجية المتاحة لنا. *فوق البن فسجي*

الإشعاع فوق البنفسجي (UV) الذي يقع تحت 400 نانومتر مباشرةً والإشعاع تح ت الأحمر (IR) الذي يقع فوق 700 نانومتر مباشرةً غير مرئي لنا. علاوة على ذلك ، فإن الإشعاع في نطاق فوق البنفسجي يمتلك طاقة عالية جدًا بحيث يدمر الج زيئات الكبيرة بدلاً من إنتاج التفاعلات الكيميائية المتحكم بها اللازمة للرؤية، وا لإشعاع في نطاق تحت الأحمر يمتلك طاقة منخفضة جدًا بحيث يقوم فقط بت سخين الأنسجة، مما يجعله غير قادر على تنشيط التفاعلات الكيميائية.

16.5ب الهياكل الملحقة بالمدار

تشغل كرة العين تجويفًا عظميًا يُسمى الحجاج. تحتوي هذه المنطقة العامة من الوجه، وهي *المنطقة الحجاجية*، على تراكيب تحمي وتساعد العين (الشكلان 16.23، 16.24):





الشكل 16.24 الهياكل الملحقة بالحجاج. (أ) مقطع سهمى للعين والحجاج. (ب) جهاز الدمع. تشير الأسهم إلى تدفق الدموع من الغدة الدمعية، عبر مقدمة العين، إلى الكيس الدمعى، ثم إلى القناة الدمعية الأنفية.

ما هو تأثير انسداد فتحات الدمع؟

"بياض العين." تحرك العين إلى الأعلى، الأسفل، نحو الوسط، وإ لى الجوانب. العضلة المائلة العلوية تمر على طول الجدار الو سيط للحجاج. يمر وترها عبر حلقة من الغضروف الليفي، وهى العَصَبَةُ الدّوّارِيّة[44] (TROCK-lee-uh)، وتلتصق بالجُزء العلوى الجانبى من كرة العين. العضلة المائلة السفلية تمتد من الجدار الوسيط للحجاج إلى الجانب السفلى الجانبى للعين. تقوم العضلات المائلة بتدوير العينين قليلاً عندما تميل رأسك نحو أى من الكتفين، مما يحافظ على محاور الرؤية مُحاذية. الأشخاص الذين يعانون من ضعف فى العضلات المائلة يضطرون إلى إمالة رؤوسهم لتركيز النظر على الأشياء؛ وعندما يكون الرأس منتصبًا، يعانون من رؤية مزدوجة. كما تسحب العضلات المائلة العين إلى الأمام، معارضةً التوتر فى العضلات المستقيمة التى كانت ستسحب العين إلى الخلف بعمق أكبر داخل الحجاج.

العضلة المائلة العلوية يعصبها العصب الدوار (العصب القحفى الرابع)، والعضلة المستقيمة الجانبية يعصبها العصب المبعد (العصب القحفى السادس)، والأربعة عضلات الأخرى يعصبها العصب المحرك للعين (العصب القحفى الثالث).

الدهون الحجاجية تحيط بالعين من الجوانب والخلف. تعمل كوسادة للعين، وتسمح لها بالحركة بحرية، وتحمى الأوعية الدموية والأعصاب فى الجزء الخلفى من الحجاج.

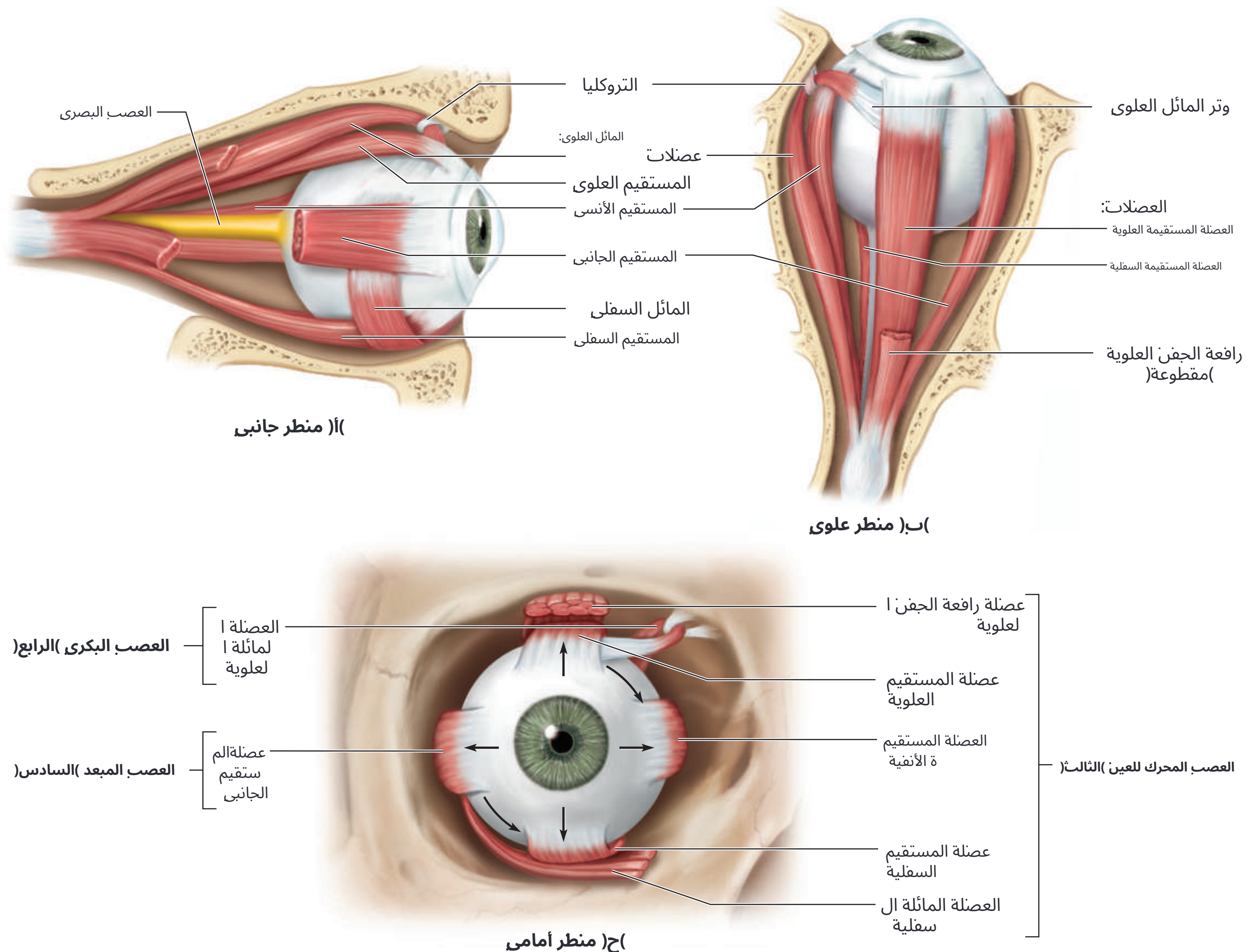
16.5ح تشريح العين

كرة العين هى كرة قطرها حوالى 24 ملم (الشكل 16.26) وتتكون من ثلاثة مكونات رئيسية: (1) ثلاث طبقات (أغشية) تشكل جدارها؛ (2) مكونات بصرية تسمح بدخول وتركيز الضوء؛ و (3) مكونات عصبية، الشبكية والعصب البصرى. الشبكية ليست فقط مكونًا عصبيًا بل هى أيضًا جزء من الغشاء الداخلى. القرنية هى جزء من الغشاء الخارجى وكذلك واحدة من المكونات البصرية.

فى الركن العلوى الوحشى للحجاج. تقود حوالى 12 قناة قصيرة من الغدة إلى سطح الملتحمة. تقوم الدموع بتنظيف وترطيب سطح العين، وتوصيل الأكسجين والمغذيات إلى الملتحمة، وتحتوى على إنزيم مضاد للبكتيريا، *الليزوزيم*، الذى يحمى العين من العدوى. بعد مرورها عبر العين، تتجمع الدموع بالقرب من الوصل الوسيط \وتتدفق إلى مسام صغير، وهو الثقب الدمعى،[43] على هامش كل جفن. يفتح الثقب إلى قناة دمعية قصيرة، القناة الدمعية الصغيرة، التى تؤدى إلى الكيس الدمعى فى الجدار الوسيط للحجاج. من هذا الكيس، يحمل القناة الدمعية الأنفية الدموع إلى الممر الأنفى السفلى؛ وبالتالى فإن وفرة الدموع من البكاء أو العيون الدامعة يمكن أن تؤدى إلى سيلان الأنف. جميع القنوات من قنوات الغدة الدمعية عبر القناة الدمعية الأنفية تسمى مجتمعة قنوات الدموع. بمجرد دخول الدموع إلى التجويف الأنفى، فإنها عادةً ما تتدفق إلى الحلق ويتم ابتلاعها.

عندما تصاب بالزكام، تصبح القنوات الدمعية الأنفية منتفخة \ ومسدودة، ولا يمكن للدموع أن تصرف، وقد تتدفق من حافة العين.

ترتبط ست عضلات خارجية للعين بجدران الحجاج والسطح الخارجى للعين. *الخارجية* تعنى "تنشأ من الخارج"؛ وتتميز هذه عن *العضلات الداخلية* داخل العين التى تتحكم فى العدسة والبؤبؤ. تحرك العضلات الخارجية العين (الشكل 16.25). تشمل أربع عضلات مستقيمة ("مستقيمة") وعضلتين *مائلتين*. العضلات المستقيمة العلوية، السفلية، الوسطى، والمستقيمة الجانبية تنشأ من حلقة وترية مشتركة على الجدار الخلفى للحجاج وتلتحم بالمنطقة الأمامية للعين، مباشرةً بعد الجزء المرئى



الشكل 16.25 العضلات الخارجية للعين.) أ(منظر جانبى للعين اليمنى. تم قطع العضلة المستقيمة الجانبية لإظهار جزء من العصب البصرى.)ب(منظر علوى للعين اليمنى.)ح(تعصيب العضلات الخارجية؛ تشير الأسهم إلى حركة العين التى تنتجها كل عضلة.

ما الذى قد يسبب أكبر فقدان فى الوظيفة البصرية — إصابة فى العصب القحفى الثالث، الرابع، أم السادس؟ ولماذا؟

تمنع هذه الآلية القرنية من الإفراط فى الترطيب، والتورم، وفقدان الشفافية. عندما يتوقف ضخ الأيونات عند الوفاة، تصبح القرنية غائمة. كما أن الطهارة الأمامية هى مصدر للخلايا الجذعية التى تمنح القرنية قدرة كبيرة على التجدد إذا تعرضت للإصابة.

- الطبقة الوعائية الوسطى. تُسمى أيضًا العنبية (uvea)[46] لأنها تشبه عنبًا مقشرًا عند التشريح الطازج. تتكون من ثلاثة مناطق — المشيمية، الجسم الهدبى، والقزحية. المشيمية هى طبقة نسيجية داكنة اللون وعالية التوعية الدموية تقع خلف الشبكية. سُميت بهذا الاسم بسبب تشابهها النسيجى مع الغشاء الجنينى (chorion) للمشيمة. توفر شبكتها الكثيفة من الأوعية الدموية كل خدمات الأكسجة، والتغذية، وإزالة الفضلات للطبقات الخارجية من الشبكية. (الطبقات الداخلية من الشبكية، الأقرب إلى الجسم الزجاجى، لها شبكات شعيرات دموية خاصة بها.)

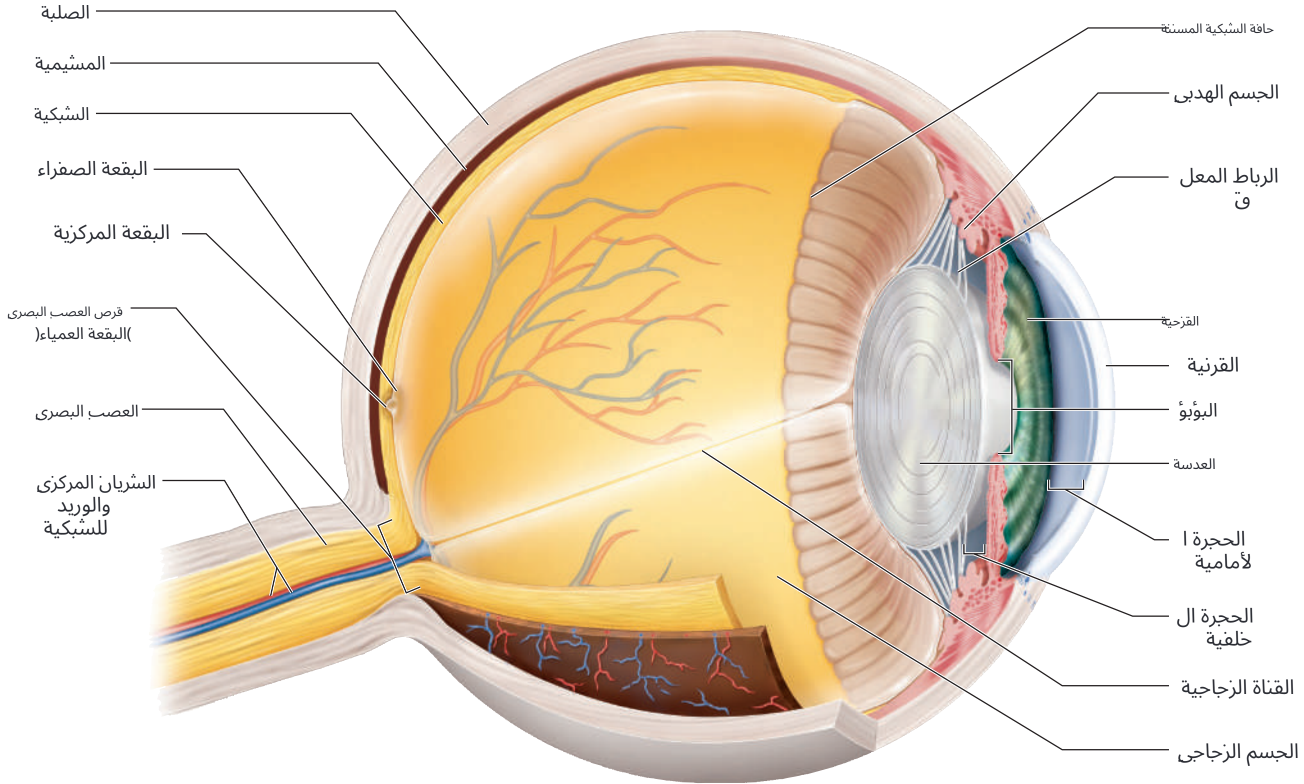
الأغشية

الأغشية الثلاثة للعين هى كما يلى:

- الطبقة الخارجية الليفية. تنقسم إلى منطقتين: الصلبة والقرنية. تغطى الصلبة[45] (بياض العين) معظم سطح العين وتتكون من نسيج ضام كثيف من الكولاجين مخترق بالأوعية الدموية والأعصاب. وتعمل كغطاء واقٍ ليفى قوى للعين وتوفر نقطة تثبيت للعضلات الخارجية التى تحركها. القرنية هى المنطقة الأمامية الشفافة من الصلبة المعدلة التى تسمح بدخول الضوء إلى العين. تتكون معظمها من طبقات متراصة جدًا من ألياف الكولاجين وخلايا ليفية رقيقة مسطحة. وتغطيها طهارة حرشفية طبقية رقيقة من الأمام وطهارة حرشفية بسيطة من الخلف. تقوم كلتا الطهارتين بضخ أيونات الصوديوم خارج نسيج القرنية. ويتبع الماء ذلك عن طريق التناضح، لذا

[46] العنبية = عنب

[45] صلب = صلب، قوى



الشكل 16.26 العين اليسرى. مقطع عرضى)أفقى(يُرى من الأعلى.

المكونات البصرية

المكونات البصرية للعين هى عناصر شفافة تسمح بمرور أشعة الضوء، وتقوم بثنيها)انكسارها(، وتركيز الصور على الشبكية. وتشمل القرنية، السائل المائى، العدسة، والجسم الزجاجى. وقد تم وصف القرنية سا بقًا.

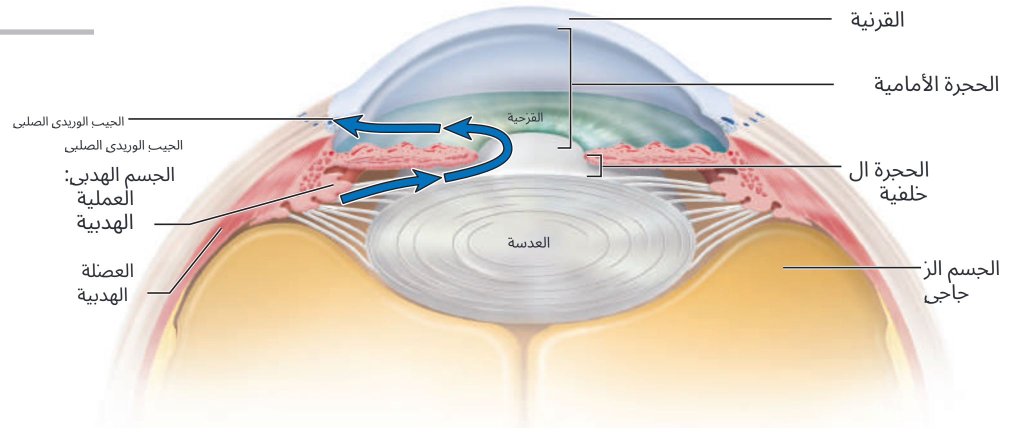
- السائل المائى هو سائل مصلى تفرزه الجسم الهدبى إلى فراغ يسمى الحجرة الخلفية بين القزحية والعدسة)الشكل 16.27(. يتدفق عبر البؤبؤ إلى الحجرة الأمامية بين القزحية والقرنية. م ن هنا، يتم امتصاصه بواسطة وريد دائرى يسمى الجيب الور يدى الصلبى. عادةً ما يكون معدل الامتصاص متوازنًا مع مع دل الإفراز)انظر التعمق 16.3 لاستثناء مهم(.

الجسم الهدبى، امتداد سميك من المشيمية، يشكل حلقة عضلية حول العدسة. يدعم القزحية والعدسة ويفرز سائلاً يسمى الخلط المائى. القزحية هى غشاء قابل للتعديل يسيطر على ق طر البؤبؤ، وهو الفتحة المركزية لها. تحتوى على طبقتين ملو نتين: طبقة صبغية خلفية *تسمى الطهارة الصبغية* تمنع الضو ء المتناثر من الوصول إلى الشبكية، وطبقة الحدود الأمامية، ال تى تحتوى على خلايا ملونة تسمى كروماتوفورات.[47] يتم تحد يد ألوان العين بواسطة نفس الصبغات، الإيوميلانين والفوميلانى ن، كما فى ألوان الجلد. العيون السوداء والبنية تحتوى على كم يات متساوية تقريبًا من هذين الصبغين فى الكروماتوفورات، بينما العيون الرمادية والزرقاء والخضراء تحتوى على نسبة حوا لى 14:1 من الفوميلانين إلى الإيوميلانين وتسمح بمرور المزيد من الضوء المنعكس من الطهارة الصبغية الخلفية.

- الطبقة الداخلية. تتكون من الشبكية وبداية العصب البصرى.

---

[47] *كروماتو* = لون؛ *فور* = حامل



الشكل 16.27 إنتاج وإعادة امتصاص ا لخلط المائى. الأسهم الزرقاء تشير إلى تدفق ا لخلط المائى من العمليات الهدبية إلى الحجرة الخ لفية؛ عبر الحدقة إلى الحجرة الأمامية؛ وأخيرًا إلى ا لجيب الوريدى الصلبى، الوريد الذى يعيد امتصا ص السائل.

إمدادها الدموى وهو ضرورى لتركيز الصور على الشبكية. قناة مائلة تمر عبر هذا الجسم تسمى *قناة الهيالوييد* وهى بقايا لشريان كان موجودًا فى الجنين)انظر الشكل 16.26(.

المكونات العصبية

المكونات العصبية هى الشبكية والعصب البصرى. تتكون الشبكية من نتوء على شكل كوب من الدماغ البينى يُسمى *الحويصلة البصرية*)انظر الشكل 14.4ب(؛ فهى فى الواقع جزء من الدماغ—الجزء الوحيد الذى يمكن رؤيته دون تشريح. إنها غشاء رقيق شفاف مرتبط ببقية العين عند نقطتين فقط: القرص البصرى، حيث يخرج العصب البصرى من الجزء الخلفى)قاع(العين، وحافته الأمامية المتعرجة، المعروفة باسم الأورَا سيراتا.[49] الشبكية تلتصق بجدار كرة العين بسبب الختم الذى تخلقه

· العدسة تتكون من خلايا مسطحة، مضغوطة بإحكام، شفافة تسمى ألياف العدسة. تُعلق خلف البؤبؤ بواسطة حلقة من الألياف تسمى الرباط المعلق)الشكل 16.29؛ انظر أيضًا الشكل 16.26(، التى تربطها بالجسم الهدبى. التوتر على الرباط يُسطح العدسة إلى حد ما بحيث يكون قطرها حو 9.0 مم وسماكتها 3.6 مم فى الوسط.

· الجسم الزجاجى[48] هو مادة هلامية شفافة تملأ مساحة تسمى *الحجرة الزجاجية* خلف العدسة. يحافظ الجسم الزجاجى على *الضغط داخل العين* داخل العين، مما يدعم شكلها الكروى ويسمح للعضلات الخارجية بسحب العين فى اتجاهات مختلفة دون ضغط أو تشويه الجسم. كما يساعد فى تثبيت الشبكية مضغوطة بسلاسة ضد جدار العين، مما يحافظ على اتصالها الوثيق مع

[49] *أورا* = الحد، الحافة؛ *سيراتا* = مسنن، متعرج

[48] زجاجى = زجاجى



رؤية أعمق 16.3

التطبيق السريرى

الأسباب الشائعة للعمى

الأسباب الأكثر شيوعًا للعمى هى الماء الأبيض، الجلوكوما، تنكس البقعة، واعتلال الشبكية السكرى.

الماء الأبيض هو تعتم العدسات)الشكل 16.28أ(. يحدث عندما تتغيم ألياف العدسة مع التقدم فى العمر، وتظهر شقوق مملوءة بالسوائل بينها، وتتراكم الحطام من الألياف المتحللة فى هذه الشقوق. يصبح الماء الأبيض أكثر شيوعًا مع التقدم فى العمر فقط، لكنه يمكن أن ينشأ أيضًا كمضاعفة لداء السكرى، ويمكن أن يتفاقم بسبب التدخين الثقيل، الأشعة فوق البنفسجية، العلاج الإشعاعى، بعض الفيروسات والأدوية، وأسباب أخرى. تتسبب فى ظهور الرؤية كأنها عكرة أو كما لو أن الشخص ينظر من خلف شلال.[50] يمكن علاج الساد عن طريق استبدال العدسة الطبيعية بعدسة بلاستيكية. تحسن العدسة المزروعة الرؤية على الفور تقريبًا، لكن قد لا تزال النظارات ضرورية للرؤية القريبة.

المياه الزرقاء هى حالة ارتفاع الضغط داخل العين تحدث عندما يُسد الجيب الوريدى الصلبى فلا يُعاد امتصاص الخلط المائى بسرعة كما يُفرز. يدفع الضغط فى الحجرة الأمامية والخلفية العدسة إلى الخلف ويضغط على الجسم الزجاجى. يضغط الجسم الزجاجى الشبكية ضد المشيمية ويضغط على الأوعية الدموية التى تغذى الشبكية. بدون وجود ضغط جيد مع نقص التروية الدموية، تموت خلايا الشبكية وقد يضمحل العصب البصرى، مما يؤدى إلى العمى. غالبًا ما تمر الأعراض دون ملاحظة حتى يصبح الضرر لا رجعة فيه. وميض وهمى من الضوء هو عرض مبكر للجلوكوما. تشمل أعراض المرحلة المتأخرة ضعف الرؤية،[51] تضيق المجال البصرى)الشكل 16.28ب(، وهالات ملونة حول الأضواء الاصطناعية. يمكن اكتشاف الجلوكوما مبكرًا خلال الفحوصات الدورية للعين عن طريق قياس ضغط العين والمجال البصرى. يمكن إيقاف تقدمها بالأدوية أو الجراحة، لكن لا يمكن استعادة الرؤية المفقودة.

تنكس البقعة هو موت خلايا المستقبلات فى البقعة، الجزء المركزى من الشبكية وموقع الرؤية الأكثر حدة. يمكن أن يتطور ببطء بحيث لا يلاحظ الشخص تغيرًا فى الرؤية، لكنه يؤدى فى النهاية إلى فقدان الرؤية فى مركز المجال البصرى، مما يجعل القراءة أو قيادة السيارة أو أداء المهام الدقيقة اليومية صعبًا أو مستحيلًا. لا يمكن علاجه حتى الآن، لكن الكشف المبكر يسمح بالعلاجات التى تبطئ تقدمه.

اعتلال الشبكية السكرى يسبب معظم حالات العمى لدى البالغين فى الولايات المتحدة. هو تنكس فى الشبكية ناتج عن تأثيرات داء السكرى على الأوعية الدموية التى تغذى الشبكية. مع الكشف المبكر والسيطرة على السكرى، يمكن منع العمى فى 90% من الحالات.



)أ(



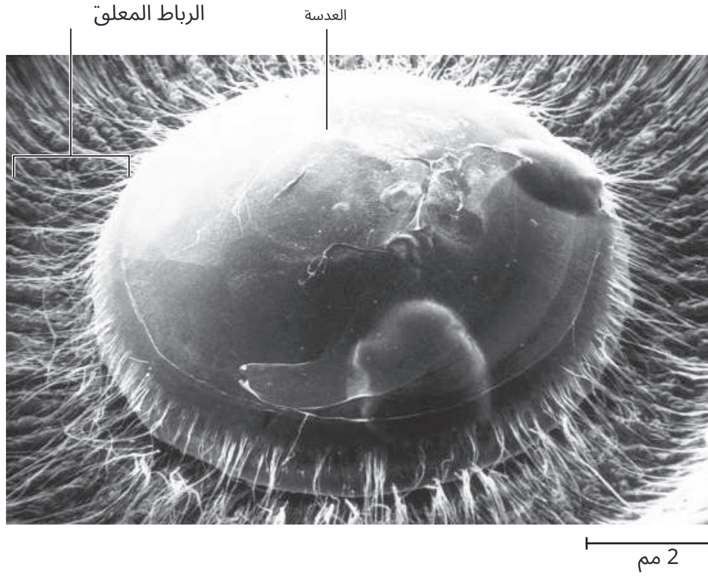
)ب(

الشكل 16.28 الماء الأبيض والزرق)الجلوكوما(.)أ(عدسة معتمة بسبب الماء الأبيض. التأثير البصرى لذلك هو رؤية ضبابية أو غير واضحة.)ب(المجال البصرى فى الجلوكوما المتقدمة، مع رؤية نفقية.

أ: sruilk/Shutterstock; ب: المعهد الوطنى للعين

[51] *المياه الزرقاء* = الرمادية

[50] *الساد* = شلال



الشكل 16.29 عدسة العين)المجهر الإلكترونى الماسح(. منظر خلفى للعد سة والرباط المعلق الذى يثبتها بالجسم الهدبى.

رالف سى إيجل جونيور / Science Source / Getty Images Plus

بواسطة طهارة الصبغة خلفها)انظر الشكل 16.36(. تقوم خلايا هذه ال طهارة بضخ الصوديوم من الفراغ بين الطهارة والشبكية، ويتبع الماء ذ لك بالتناضح. هذا يخلق شفطًا طفيفًا يُبقى الشبكية ملتصقة بالطهارة . عندما تتأخر هذه الخلايا فى عملها، يمكن أن تنفصل الشبكية عن الم شيمية. كما يمكن للضربات على الرأس أن تُزيح الشبكية. قد يسبب هذا الانفصال فى الشبكية مناطق ضبابية فى مجال الرؤية. ويؤدى إل ى العمى إذا ظلت الشبكية منفصلة لفترة طويلة عن إمداد الدم فى ا لمشيمية.

يتم فحص الشبكية باستخدام أداة إضاءة وتكبير تسمى منظار ال عين)الشكل 16.30(. مباشرة خلف مركز العدسة، على المحور البصر ى للعين، توجد بقعة من الخلايا تسمى البقعة الصفراء[52] قطرها حوا لى 3 مم. فى مركز البقعة توجد حفرة صغيرة، الحفرة المركزية[53] ال تى تنتج أدق الصور لأسباب سيتم شرحها لاحقًا. على بعد حوالى 3 مم نحو الداخل من البقعة الصفراء يوجد القرص البصرى. تتجمع ألياف ا لأعصاب من جميع مناطق الشبكية عند هذه النقطة وتخرج منها فى حزمة تشكل العصب البصرى. تمر الأوعية الدموية عبر مركز العصب ا لبصرى وتدخل وتخرج من العين عند القرص البصرى. تخدم فحوصا ت العين أكثر من تقييم النظام البصرى؛ فهى تسمح بفحص مباشر و غير جراحى للأوعية الدموية للكشف عن علامات ارتفاع ضغط الدم، دا ء السكرى، تصلب الشرايين، وأمراض الأوعية الدموية الأخرى.

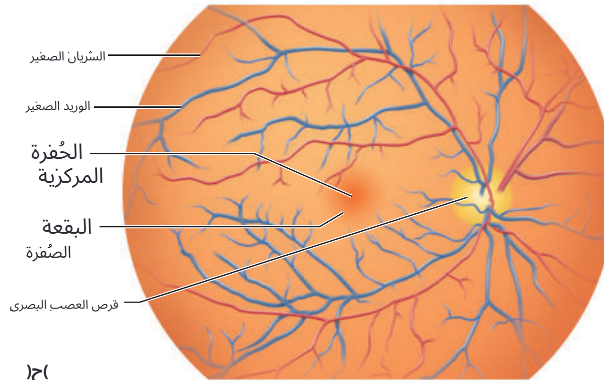
لا يحتوى القرص البصرى على خلايا مستقبلية، لذا فإنه يُنتج بقع ة عمياء فى مجال رؤية كل عين. يمكنك اكتشاف بقعتك العمياء وم لاحظة ظاهرة بصرية مثيرة بمساعدة الشكل 16.31. أغلق أو غطِ عي نك اليمنى وامسك الصورة على بعد حوالى 30 سم)1 قدم(من وجه ك. ركز على X بعينك اليسرى. دون أن تزيح نظرك عن X، حرك رأسك أو الصفحة قليلاً إلى الأمام والخلف، أو يمينًا ويسارًا، حتى يختفى الن قطة الحمراء. يحدث هذا لأن صورة النقطة تقع على البقعة العمياء فى عينك اليسرى.

يجب أن تلاحظ شيئًا آخر يحدث فى نفس الوقت الذى تختفى فيه النقطة — ظاهرة تسمى التعبئة البصرية. يبدو أن الشريط الأخ ضر يملأ الفراغ حيث كانت النقطة. يحدث هذا لأن

[52] بُقعة = نقطة؛ صفراء = صفراء
[53] الحُفرة = حفرة، انخفاض


)أ(


)ب(



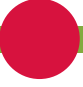
)ح(

الشكل 16.30 قاع العين)الجزء الخلفى(.)أ(استخدام منظار العين.)ب(كما يُرى بمنظار العين.)ح(الخصائص التشريحية لقاع العين. لاحظ الأوعية ا لدموية المتفرعة من القرص البصرى، حيث تدخل العين مع العصب ال بصرى. كما يُعد فحص العين فحصًا جزئيًا لصحة القلب والأوعية الدمو ية.

بافتراض أن هذه الصور لم تُعكس، هل تُظهر عين الشخص اليمنى أم ا ليسرى؟ كيف يمكنك التمييز؟

أ: بيتر دازلى / The Image Bank / Getty Images؛ ب: ليزا كلانشر

يستخدم الدماغ الصورة المحيطة بالبقعة العمياء لملء المنطقة بمعلومات مشابهة لكنها خيالية. يتصرف الدماغ كما لو أنه من الأفضل أن يفترض أن المنطقة غير المرئية ربما تشبه محيطها بدلاً من السماح لبقعة داكنة بإزعاج رؤيتك. هذا أحد الأسباب التى تجعلنا لا نرى بقعة عمياء فى المجال البصرى. سبب آخر هو أن العينين تخضعان باستمرار لحركات وميض دقيقة)الحركات السريعة للعين(التى تضمن ألا تسقط نفس المنطقة من المجال البصرى دائمًا على نفس المنطقة من الشبكية. ما لا تراه العين فى لحظة معينة، سترى




الشكل 16.31 عرض للبقعة العمياء و الملء البصرى. انظر النص لشرح كيفية إجراء هذا العرض. قد تحتاج إلى تعديل المسافة من وجهك حسب الوسيط المطبوع أو الإلكترونى الذى تشاهد فيه الصورة.

ذلك بعد بضعة ميلى ثانية فقط عندما تعيد الحركات السريعة للعين توجيه محور رؤيتها. الحركات السريعة للعين هى أسرع الحركات العضلية فى جسم الإنسان. بدونها، لن تتمكن من قراءة هذه الصفحة.

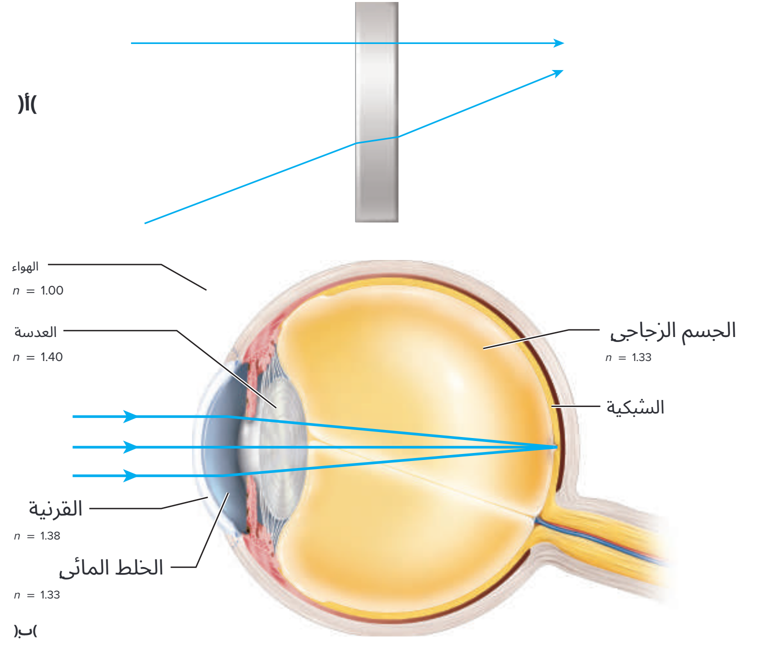
16.5d تكوين صورة

تبدأ العملية البصرية عندما تدخل أشعة الضوء العين، وتركز على الشبكية، وتنتج صورة صغيرة مقلوبة. عندما يتسع البؤبؤ بالكامل، يسمح بمرور كمية ضوء تعادل خمسة أضعاف ما يسمح به عند انقباضه الكامل. يتم التحكم فى قطره بواسطة مجموعتين من العناصر القابلة للانقباض فى القزحية:)1(يتكون ضيق البؤبؤ من خلايا عضلية ملساء تحيط بالبؤبؤ. عند تح فيزها من قبل الجهاز العصبى اللاودى، تضيق البؤبؤ وتسمح بمرور كم ية أقل من الضوء إلى العين.)2(يتكون توسيع البؤبؤ من ترتيب يش به الأشعة لخلايا عضلية طلائية قابلة للانقباض. عند تحفيزها من قبل الجهاز العصبى الودى، تنقبض هذه الخلايا، وتوسع البؤبؤ، وتسمح بمر ور كمية أكبر من الضوء إلى العين)انظر الشكل 15.9(. يحدث انقباض وتوسع البؤبؤ فى ثلاث حالات: استجابةً للعواطف، وتغيرات شدة ال ضوء، وتحول النظر بين الأجسام البعيدة والقريبة. الانقباض استجابة لتحول النظر هو جزء من الاستجابة القريبة التى سيتم وصفها لاحقًا.

يسمى انقباض البؤبؤ استجابةً للضوء الانعكاس الضوئى للبؤبؤ. يتم ذلك عبر قوس انعكاسى ذاتى التحكم. عندما تزداد شدة الضوء، تُنقل الإشارات من العين إلى المنطقة قبل ا لسقفية فى الجزء العلوى من الدماغ المتوسط. تسافر الألياف اللاودية قبل العقدة عبر العصب المحرك للعين من هنا إلى العقدة الهدبية فى المحجر. من العقدة، تستمر الألياف بعد العقدة إلى داخل العين، حيث تحفز ضيق البؤبؤ.
ينشأ التعصيب الودى للبؤبؤ، مثل جميع الألياف الودية الصادرة ا لأخرى، من الحبل الشوكى. تصعد الألياف قبل العقدة من الحبل الصد رى إلى العقدة العنقية العلوية.
من هناك، تتبع الألياف بعد العقدة الشرايين السباتية إلى الرأس وت صل فى النهاية إلى توسيع البؤبؤ.

الانكسار

تعتمد تكوين الصورة على الانكسار، وهو انحناء أشعة الضوء. يسير الضوء بسرعة 300,000 كم/ث فى الفراغ، لكنه يبطئ قليلاً فى ا لهواء والماء والزجاج والوسائط الأخرى. *معامل الانكسار* لوسط (n) هو مقياس لمقدار تباطؤ أشعة الضوء مقارنة بالهواء. تم تعيين *معامل ا لانكسار* للهواء تعسفيًا عند $n = 1.00$.
إذا سافر الضوء عبر الهواء وضرب وسطًا ذا معامل انكسار أعلى براوية سقوط مقدارها 90°، فإنه يبطئ سرعته لكنه لا يغير مساره— أشعة ا لضوء لا تنحنى. ومع ذلك، إذا ضرب الضوء بزاوية أخرى، فإن شعاع ا لضوء يغير اتجاهه— يتم انكساره)الشكل 16.32أ(.
كلما زاد الفرق فى معامل الانكسار بين الوسطين، وزاد زاوية السقوط، زادت قوة الانكسار.
عندما يدخل الضوء العين، ينتقل من الهواء، بمعامل انكسار $n=$ 1.00، إلى القرنية، بمعامل انكسار $n = 1.38$. تمر أشعة الضوء التى تصطدم بمركز القرنية مباشرةً، ولكن بسبب انحناء القرنية، تنحنى الأ شعة التى تصطدم خارج المركز نحو المركز)الشكل 16.32ب(. السا ئل المائى له معامل انكسار 1.33 ولا يغير مسار الضوء بشكل كبير.



الشكل 16.32 مبادئ الانكسار.)أ(الوسط المنكسر لا يثنى أشعة الضوء التى تصطدم به بزاوية 90° ولكنه يثنى الأشعة التى تدخل أو تخرج منه بأى زاوية أ خرى.)ب(مؤشرات الانكسار للوسائط من الهواء إلى الشبكية. كلما زاد الفر ق بين مؤشرات الانكسار لوسطين، زاد انكسار أشعة الضوء بقوة عند انتقالها من أحدهما إلى الآخر.

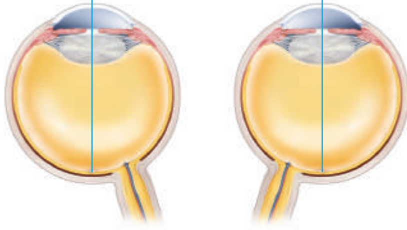
العدسة لها معامل انكسار 1.40. عندما ينتقل الضوء من الهواء إلى ا لقرنية، يتغير معامل الانكسار بمقدار 0.38؛ ولكن عندما ينتقل من ال سائل المائى إلى العدسة، يتغير معامل الانكسار بمقدار 0.07 فقط. لذ لك، تقوم القرنية بانكسار الضوء أكثر من العدسة. تقوم العدسة فقط بضبط الصورة بدقة، خاصةً عند تغيير تركيزك بين الأشياء القريبة وال بعيدة.

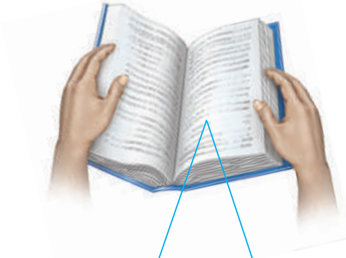
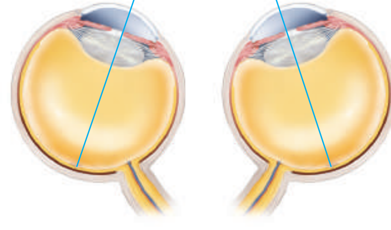
الاستجابة القريبة

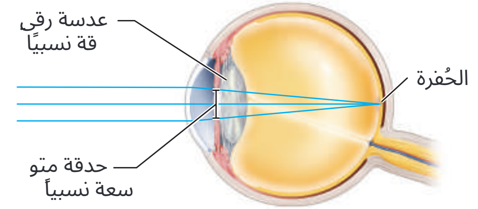
الحالة الطبيعية للرؤية)إيميتروبيا(هى حالة يكون فيها العين مسترخي ة ومركزة على جسم يبعد أكثر من 6 أمتار)20 قدمًا(، حيث تكون أشع ة الضوء القادمة من ذلك الجسم متوازية أساسًا، ويتم تركيز الأشعة ع لى الشبكية دون جهد. إذا تحول النظر إلى شيء أقرب، تكون أشعة ال ضوء من المصدر متباعدة جدًا بحيث لا يمكن تركيزها دون جهد. بمع نى آخر، العين تركز تلقائيًا على الأشياء البعيدة ما لم تبذل جهدًا للتركي ز فى مكان آخر. بالنسبة للحيوانات البرية أو أسلافنا فى العصور القديم ة، كان هذا الترتيب مفيدًا لأنه يسمح باليقظة تجاه المفترسات أو ال فرائس على مسافة.
الاستجابة القريبة)الشكل 16.33(، أو التكيف للرؤية عن قرب، تتضمن ثلاث عمليات لتركيز الصورة على الشبكية:

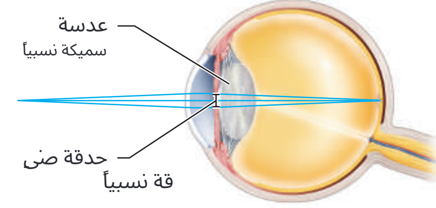
1. تقارب العينين. حرك إصبعك تدريجيًا نحو أنف الطفل وسيحاول الطفل النظر إليه بعينيه متقاطعتين.
هذا التقارب للعينين يوجه المحور البصرى لكل عين نحو الجسم من أجل تركيز صورته على كل بؤبؤ)الفوفيا(. إذا لم تستطع الع ينان التقارب بدقة — على سبيل المثال، عندما تكون العضلات الخارجية أضعف فى عين واحدة مقارنة بالأخرى — ينتج عن ذ لك رؤية مزدوجة، أو *ازدواجية الرؤية)دبلوبيا(*، الصور.[55]

[54] *em* = فى؛ *metr* = قياس؛ *opia* = رؤية
[55] *dipl* = مزدوج؛ *opia* = رؤية





الشكل 16.33 الحَوَل الطبيعي واستجابة القرب. (أ) منظر علوي لكلتا العينين مثبتتين على جسم يبعد أكثر من 6 أمتار (يسار)، وكلتا العينين مثبتتين على ح
سم أقرب من 6 أمتار (يمين). (ب) منظر جانبي للعين مثبتة على جسم بعيد (أعلى) وجسم قريب (أسفل).

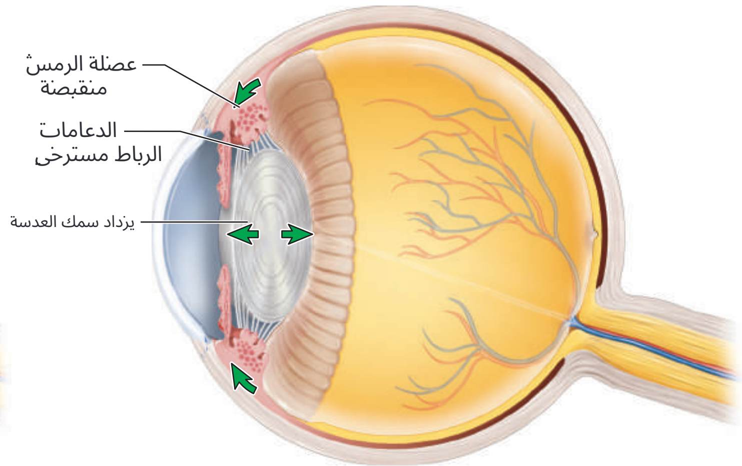
تضيق الحدقة عند تركيزك على الأجسام القريبة؛ يُسمى هذا الـ
ضيق بـ التضيّق (miosis) ولا يُخلط بينه وبين *الان
قسام الاختزالي* (meiosis) في انقسام الخلايا). مثل ص
بط الحجاب الحاجز (فتحة العدسة في الكاميرا)، لذلك للحدقة غر
ضان: تعديل العين لتغيرات السطوع وتقليل الانحراف الكروي.

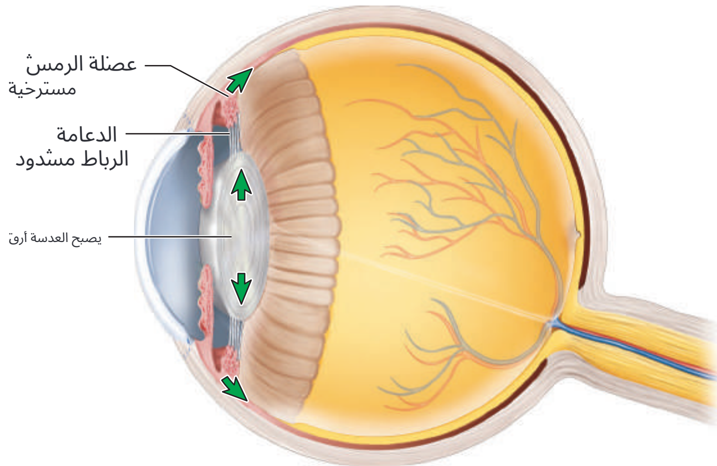
3. تكيّف العدسة. التكيّف هو تغيير في انحناء العدسة يتيح لك ال
تركيز على جسم قريب. عندما تنظر إلى شيء قريب، ينقبض ا
لعضلة الهدبية المحيطة بالعدسة. هذا يضيق قطر الجسم الهد
بي، ويرخي ألياف الرباط المعلق، ويسمح للعدسة بالاسترخاء إلى
شكل أكثر تحدبًا (الشكل 16.34).

في حالة الرؤية الطبيعية (الإمتروبيا)، يكون سمك العدسة حوالي 3.6 مم في المركز؛
أثناء التكيف، تزداد سماكتها لتصل إلى 4.5 مم.

تسقط على أجزاء مختلفة من الشبكيتين ويرى الدماغ صورتي
ن. يمكنك محاكاة هذا التأثير بالضغط بلطف على زاوية جفن وا
حد أثناء النظر إلى هذا النص؛ ستسقط صورة النص على
مناطق غير متطابقة في العينين مما يجعلك ترى صورتين.

2. تضييق الحدقة. لا تستطيع العدسات انكسار أشعة الضوء ع
ند حوافها بنفس الكفاءة التي تستطيعها بالقرب من المركز.
الصورة التي ينتجها أي عدسة تكون بالتالي غير واضحة إلى ح
د ما حول الحواف؛ هذا *الانحراف الكروي* واضح جدًا في المجهر ا
لرخيص. يمكن تقليله عن طريق حجب أشعة الضوء الطرفي
ة والتركيز فقط على المركز الأكثر وضوحًا. في العين، تقوم عضلة
تضييق الحدقة بهذا الدور عن طريق تضييقها





الشكل 16.34 تكيّف العدسة. (أ) في العين السليمة (الإيميتروبية)، يكون العضلة الهدبية مسترخية ومتوسعة. تُمارس توتراً على الرباط المعلق وتُسطح العد
سة. (ب) أثناء التكيّف، تنقبض العضلة الهدبية ويضيق قطرها. هذا يقلل التوتر على الرباط المعلق ويسمح للعدسة بالاسترخاء إلى شكل أكثر تحدباً.

▶▶▶ طبقْ ما تعرفه

ما هى العضلات الخارجية للعينْ التى تُعد المحركات الرئيسية فى التقارب؟

16.5e التحويل الحسى فى الشبكية

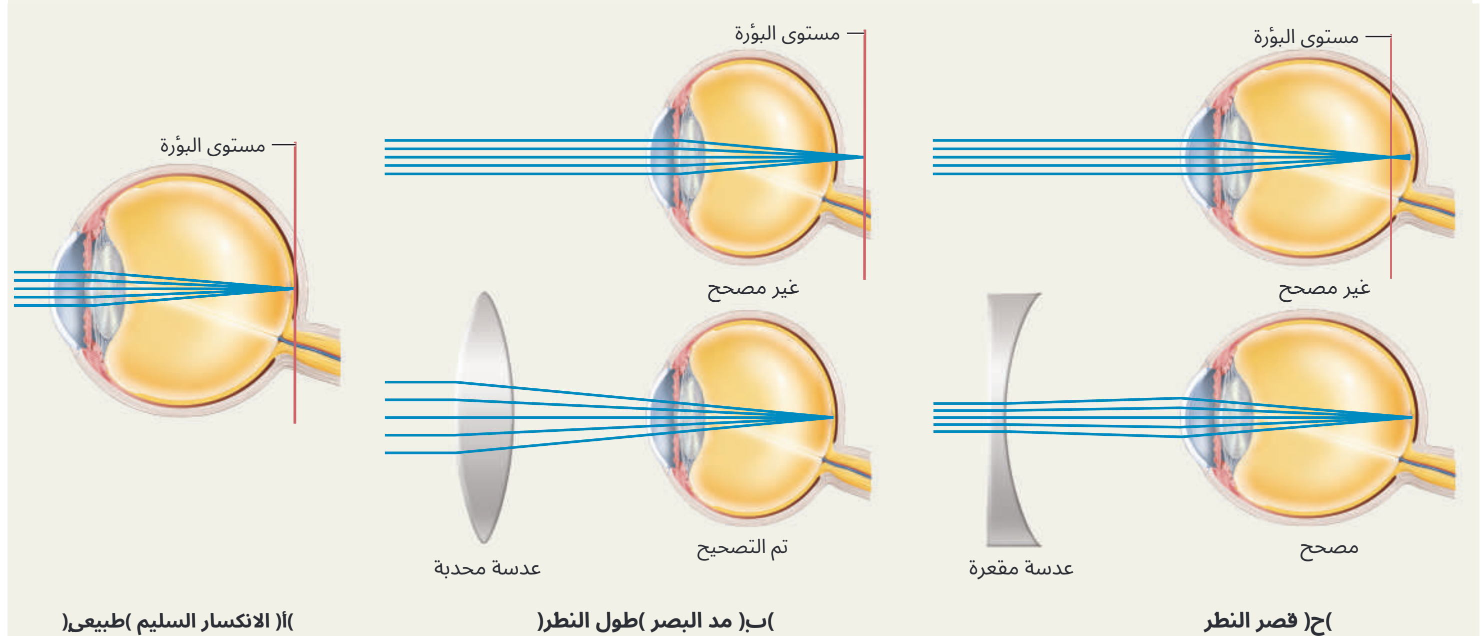
يحدثُ تحويل طاقة الضوء إلى جهود فعلية فى الشبكية. نبدأ استكشافنا لهذه العملية بتخطيط الخلايا فى الشبكية (الشكل 16.36). من هناك ننتقل إلى الصبغات التى تمتص الضوء ثم إلى ما يحدثُ عند امتصاص الضوء.

العدسة المحدبة تكسر الضوء بقوة أكبر وتركز أشعة الضوء المتباعدة على الشبكية. أقربُ مسافة يمكنْ أنْ يكونْ فيها الجسم ولا يزال فى بؤرة التركيز تُسمى نقطة الرؤية القريبة. وتعتمد على مرونة العدسة. تصبح العدسة أكثر صلابة مع التقدم فى العمر، لذا فإنْ نقطة الرؤية القريبة تكونْ فى المتوسط حوالى 9 سم فى عمر 10 سنوات و83 سم بحلول عمر 60 سنة. لذلك غالبًا ما يواجه كبار السن صعوبة فى قراءة الطباعة أو القيام بالأعمال الدقيقة باليدين بالقربْ من العين، ويضطرونْ إلى إبقاء الأشياء أبعد للتركيز عليها.

يتم وصفُ بعضِ العيوبِ الشائعة فى تكوينِ الصورة فى الجدول 16.2.

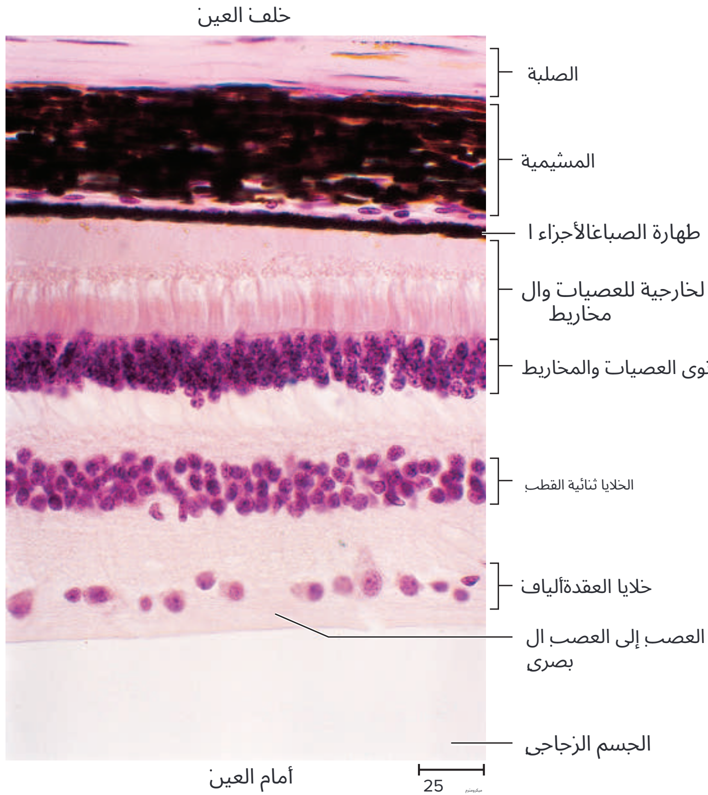
الجدول 16.2 العيوبُ الشائعة فى تكوينِ الصورة

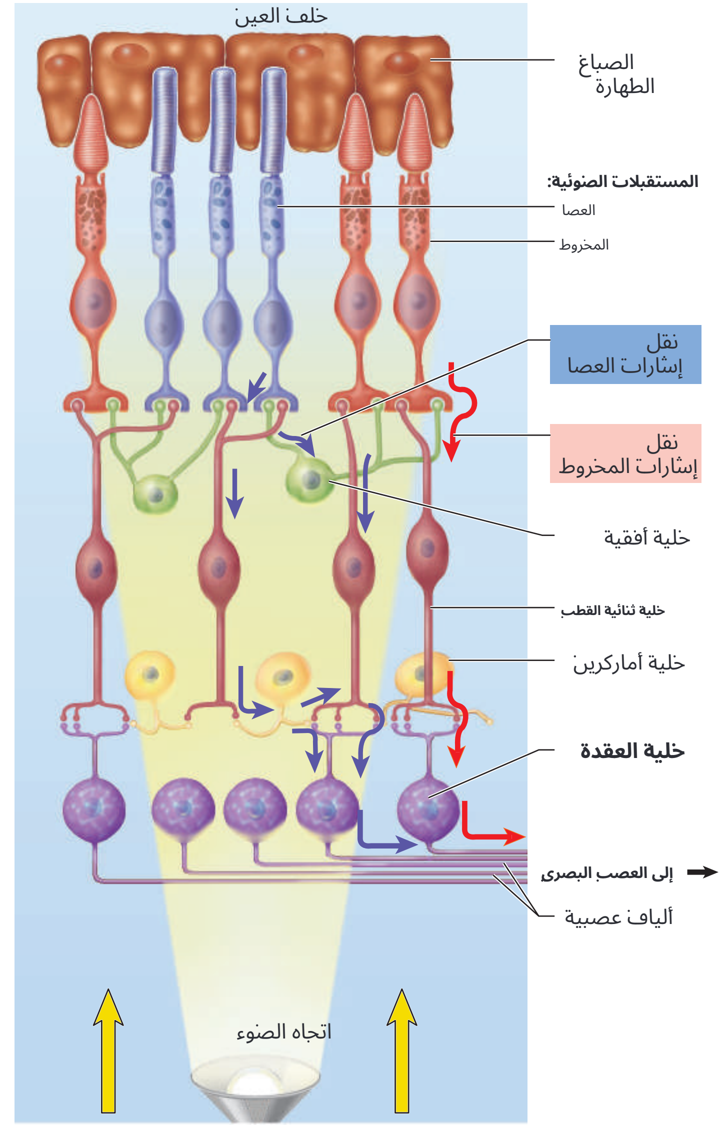
اللابؤرية[56]	عدم القدرة على تركيز أشعة الضوء التى تدخل العين على مستويات مختلفة فى نفس الوقت. قد يؤدى التركيز على خطوط عمودية، مثل حافة الباب، إلى خروج خطوط أفقية، مثل سطح الطاولة، عنْ التركيز. يحدثُ ذلك بسبب انحراف فى شكل القرنية بحيثُ تكون على شكل ظهر ملعقة بدلاً من جزء من كرة. يتم تصحيحه باستخدام عدسات أسطوانية، تقوم بكسر الضوء أكثر فى مستوى واحد مقارنة بآخر.
طول النظر[57]	طول النظر — حالة يكونْ فيها مقلة العينْ قصيرة جدًا. تقع الشبكية أمام نقطة تركيز العدسة، وأشعة الضوء لم تتركز بعد عندما تصل إلى الشبكية (انظر أعلى الشكل 16.35ب). يسببُ أكبر صعوبة عند رؤية الأشياء القريبة. يتم تصحيحه باستخدام عدسات محدبة، التى تجعل أشعة الضوء تتقاربُ قليلاً قبل دخول العين، بحيثُ تصل إلى نقطة تركيزها أبكر من المعتاد، على شبكية مقلة العينْ القصيرة.
قصر النظر[58]	قصر النظر — حالة يكونْ فيها مقلة العينْ طويلة جدًا. تتجمع أشعة الضوء قبل أنْ تصل إلى الشبكية وتبدأ فى التشتت مرة أخرى بحلول الوقت الذى تسقط فيه عليها (انظر أعلى الشكل 16.35ح). يتم تصحيحها باستخدام العدسات المقعرة التى تسببُ تشتتًا طفيفًا لأشعة الضوء قبل دخولها العين، مما يحول نقطة التركيز إلى الخلف بحيثُ تقع على شبكية العينْ الطويلة.
قصر النظر الشيخوخى[59]	انخفاضُ القدرة على التكيفُ للرؤية القريبة مع التقدم فى العمر. ناتج عنْ تراجع مرونة العدسة. يؤدى إلى صعوبة فى القراءة وأداء الأعمال اليدوية القريبة. يتم تصحيحه باستخدام العدسات ذات البؤرتينْ أو نظارات القراءة.



الشكل 16.35 عيوبُ بصرية شائعة وتأثيرات العدسات التصحيحية. (أ) العين الطبيعية ذات الانكسار السليم، حيثُ تتقاربُ أشعة الضوء على الشبكية. (ب) مد البصر (طول النظر) وتأثير التصحيح باستخدام عدسة محدبة. (ح) قصر النظر وتأثير التصحيح باستخدام عدسة مقعرة.

[56] a = لا؛ الوَسم = نقطة؛ الحالة = حالة
[57] hyper= مفرط؛ op = عين؛ ia = حالة
[58] my = مغلق؛ op = عين؛ ia = حالة
[59] presby = قديم؛ op = عين؛ ia = حالة





الشكل 16.36 علم الأنسجة لشبكية العين.)أ(صورة مجهرية ضوئية.
)ب(مخطط طبقات وعلاقات التشابك بين خلايا الشبكية.

أ: دينيس ستريت/ماكجرو هيل

فى الواقع، أهداب معدلة بشكل كبير متخصصة فى امتصاص الضوء.
يحتوى الجزء الداخلى على الميتوكوندريا وعُصَيّات أخرى. عند
قاعدته، ينشأ جسم الخلية، الذى يحتوى على النواة، وأطراف ت
تشابك مع خلايا الشبكية العصبية فى الطبقة التالية.

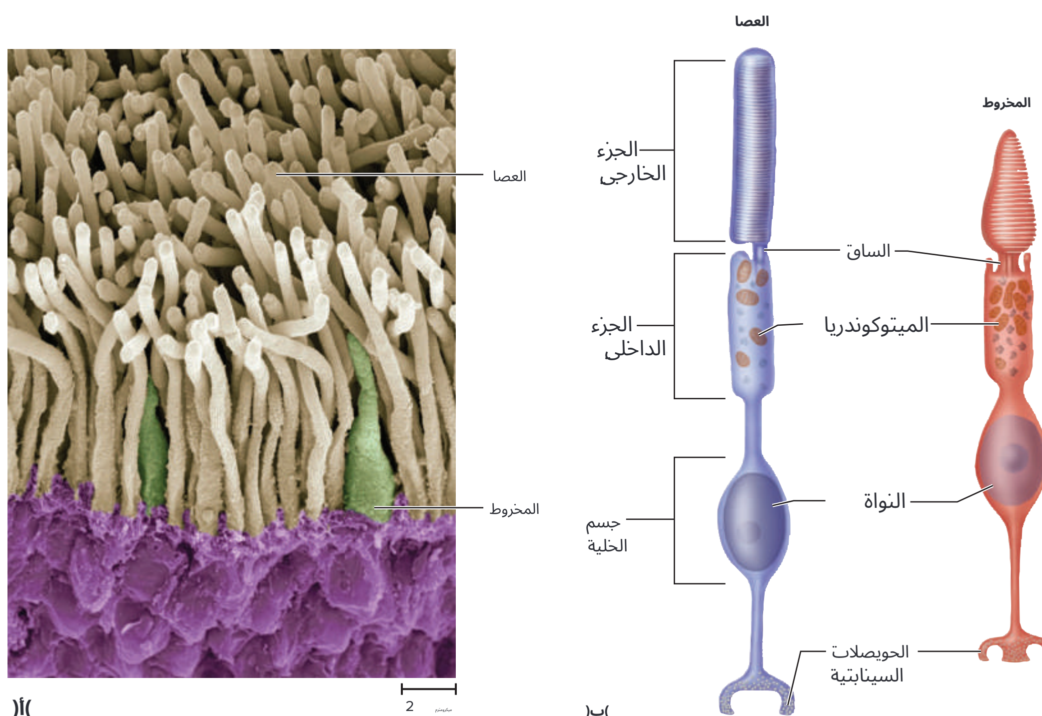
فى القضيب، يكون الجزء الخارجى أسطوانيًا ويشبه
كومة من العملات المعدنية فى غلاف—يوجد غشاء بلازمى
حول الخارج وكومة مرتبة بعناية من حوالى
1000 قرص غشائى فى الداخل. كل قرص مغطى بكثافة
بالبروتينات الكروية—الصبغة البصرية *رودوبسين*.
تحافظ الأغشية على جزيئات الصبغة هذه فى وضع
يؤدى إلى أكثر امتصاص ضوئى كفاءة. خلايا القضيب مسؤولة عن الرؤية الليلية)الرؤية الظلامية60(
وتنتج صورًا
بدرجات الرمادى فقط)الرؤية أحادية اللون(.

أبعد جزء خلفى من الشبكية هو الطبقة الصبغية، التى تعمل، م
ثل الجزء الأسود داخل كاميرا الفيلم، على امتصاص الضوء المتناثر ح
تى لا ينعكس مرة أخرى عبر الشبكية ويُضعف الصورة البصرية.

تتكون الطبقة العصبية من الشبكية من ثلاث طبقات خلوية رئ
يسية. متقدمة من الجزء الخلفى للعين إلى الأمام، تتألف هذه من خ
لايا المستقبلات الضوئية، خلايا ثنائية القطب، و *خلايا العقدة:*

1. خلايا المستقبلات الضوئية. تمتص خلايا المستقبلات الضو
ئية الضوء وتولد إشارة كيميائية أو كهربائية. هناك ثلاثة أنوا
ع: القضبان، المخاريط، وبعض خلايا العقدة. فقط القضبان
والمخاريط تنتج صورًا بصرية؛ أما خلايا العقدة فسيتم مناق
شتها لاحقًا. القضبان و المخاريط ليست خلايا عصبية
، لكنها مرتبطة بخلايا الأبنديمال فى الدماغ. لكل قضيب أو مخر
وط جزء خارجى يشير نحو جدار العين وجزء داخلى يواجه الداخ
ل)الشكل 16.37(. الجزآن مفصولان بتضييق يحتوى على
تسعة أزواج من الأنابيب الدقيقة، مما يدل على أن الجزء الخارج
ى هو

60 scot = الظلام؛ op = الرؤية



الشكل 16.37 خلايا القضيب والمخروط.)أ(القضبان والمخاريط فى شبكية العين البشرية)تصوير مجهر إلكترونى مسحى(. تُظهر الأجزاء الخارجية باللون البنى)القضبان(والأخضر)المخاريط(؛ أجسام الخلايا والأجزاء الداخلية باللون البنفسجى.)ب(هيكل القضبان والمخاريط البشرية. يُظهر الجزء الخارجى للقضيب مقصراً بشكل كبير.

a: ستيف غشمايسنر/Science Source

هناك خلايا شبكية أخرى، لكنها لا تشكل طبقات خاصة بها. تشكل الخلايا الأفقية)الخلايا الأفقية(والخلايا الأماكرينية)الخلايا الأماكرينية(اتصالات أفقية بين القضبان والمخاريط والخلايا ثنائية القطب وتتدخل فى المسارات من خلايا المستقبلات إلى خلايا العقدة. تلعب هذه الخلايا أدوارًا متنوعة فى تعزيز إدراك التباين، وحواف الأجسام، والتغيرات فى شدة الضوء. بالإضافة إلى ذلك، يتكون جزء كبير من كتلة الشبكية من الخلايا النجمية وأنواع أخرى من الخلايا الدبقية.

يوجد فى المتوسط حوالى 92 مليون قضيب و5 ملايين مخروط فى شبكية العين الواحدة، لكن هناك فقط مليون ألياف عصبية فى العصب البصرى. مع نسبة تقارب 97 خلية مستقبلية لكل ليف عصبى فى العصب البصرى، من الواضح أنه يجب أن يكون هناك تقارب عصبى كبير ومعالجة معلومات فى الشبكية نفسها قبل أن تُنقل الإشارات إلى الدماغ. يحدث التقارب حيث تتشابك عدة قضبان أو مخاريط مع خلية ثنائية القطب واحدة، ومرة أخرى حيث تغذى عدة خلايا ثنائية القطب خلية عقدة واحدة. سنستعرض لاحقًا كيف يعمل التقارب فى دقة الرؤية والرؤية الليلية.

الصبغات البصرية

الصبغة البصرية فى القضبان تُسمى رودوبسين)ro-DOP-sin(، أو الأرجوانى البصرى. تتكون من جزأين رئيسيين)مجموعتين(: بروتين يُسمى أوبسين ومشتق من فيتامين أ يُسمى ريتينين أو ريتينال)يتناغم مع كلمة "pal"( )الشكل 16.38(. يمكن أن يؤدى نقص فيتامين أ الغذائى إلى العمى الليلى، وهو صعوبة فى الرؤية فى الضوء الخافت. الأوبسين مدمج فى أغشية الأقراص فى الجزء الخارجى من القضيب. تحتوى جميع القضبان على نوع واحد من الرودوبسين مع ذروة امتصاص عند

خلية مخروطية مشابهة لكنها أقصر، الجزء الخارجى منها ينتهى بنقطة، والأقراص ليست منفصلة عن غشاء البلازما بل هى طيات موازية له. الصبغة البصرية الخاصة بها تسمى *فوتوبسين*. تعمل المخاريط فى الضوء الساطع؛ فهى مسؤولة عن الرؤية النهارية)الفوتوبية[61] (وكذلك الرؤية اللونية)ثلاثية الألوان(.

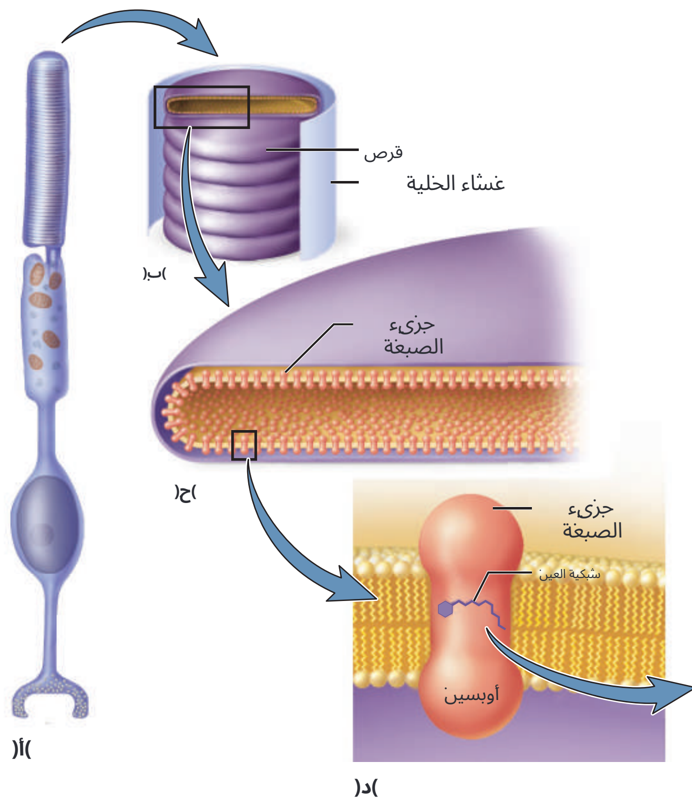
تجدد العصى والمخاريط أقراصها باستمرار عن طريق إضافة أقراص جديدة فى الطرف القريب)القاعدى(من الجزء الخارجى، بينما تُطرح الأقراص القديمة من الأطراف البعيدة للخلايا ويتم التهامها بواسطة خلايا فى الطبقة الصبغية.

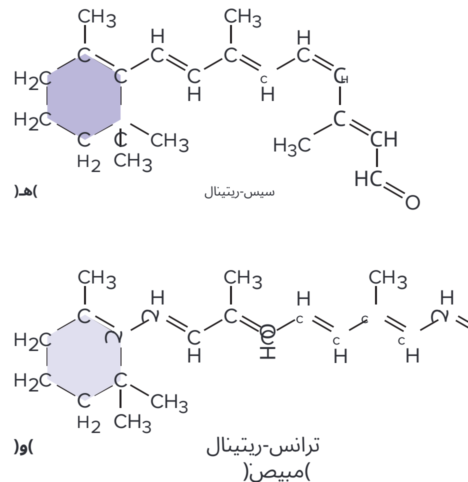
2. الخلايا ثنائية القطب. تتشابك العصى والمخاريط مع تفرعات الخلايا ثنائية القطب، وهى الخلايا العصبية من الدرجة الأولى فى مسار الرؤية. بدورها تتشابك مع خلايا العقد العصبية الموضحة لاحقًا)الشكل 16.36ب(.

3. خلايا العقد العصبية. خلايا العقد العصبية هى أكبر الخلايا العصبية فى الشبكية، مرتبة فى طبقة واحدة قريبة من الجسم الزجاجى. وهى الخلايا العصبية من الدرجة الثانية فى مسار الرؤية. تتلقى معظم خلايا العقدة مدخلات من عدة خلايا ثنائية القطب. تشكل محاورها العصب البصرى. ومع ذلك، فإن بعض خلايا العقدة هى مستقبلات ضوئية إضافية؛ تمتص الضوء مباشرة وتنقل الإشارات إلى نوى جذع الدماغ التى تتحكم فى قطر الحدقة وإيقاعات الجسم اليومية)الإيقاعات اليوماوية(. لا تساهم هذه الخلايا فى الصور البصرية بل تكتشف فقط شدة الضوء. يُسمى صبغها الحسى الميلانوبسين.

[61] *phot* = ضوء؛ *op* = رؤية

a = بدون؛ *macr* = طويل؛ *in* = ليف)يفتقر إلى المحاور(





الشكل 16.38 هيكل وموقع الأصباغ البصرية.)أ(خلية قضيبية.)ب(تفاصيل الجزء الخارجي من القضيب.)ح(قرص واحد من الجزء الخارجي يظهر الغشاء المثبت عليه جزيئات الصبغة.)د(جزيء صبغة، مدمج في غشاء الوحدة للقرص، يظهر الجزء البروتيني، الأوبسين، ومشتق فيتامين أ، الريتنال.)هـ(سيس-ريتينال، النظير الموجود في غياب الضوء.)و(ترانس-ريتينال، النظير المنتج عندما تمتص الصبغة فوتون الضوء.

عندما يمسح عينك مشهدًا، يمر بمناطق ذات سطوع أكبر وأقل. صوره ا على الشبكية تسبب نمطًا متغيرًا بسرعة من استجابات الخلايا الثنا ئية القطبية مع ارتفاع وانخفاض شدة الضوء على بقعة من الشبكية.

عندما تكتشف الخلايا الثنائية القطبية تقلبات في شدة الضوء، تحفز خلايا العقدة إما مباشرة)عن طريق التشابك معها(أو بشكل غير مباشر)عبر مسارات تمر عبر خلايا الأماكرين(. خلايا العقدة هي الخلايا الوحيدة في الشبكية التي تنتج جهد الفعل؛ جميع الخلايا الشبكية الأخ رى تنتج فقط جهودًا محلية متدرجة. تستجيب خلايا العقدة للخلايا ال ثنائية القطبية بترددات إطلاق متزايدة ومتراجعة. عبر العصب البصر ي، توفر هذه التغيرات إشارات بصرية إلى الدماغ.

16.5f التكيف مع الضوء والظلام

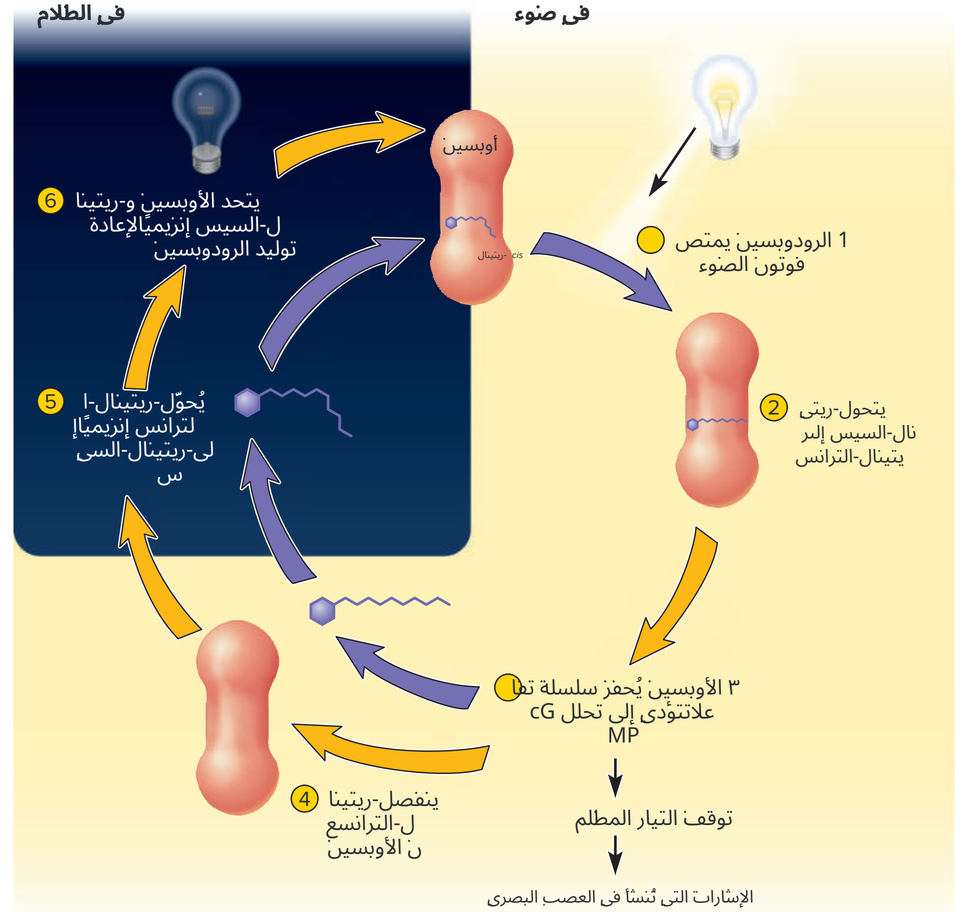
يمكن للعين البشرية اكتشاف شدة الضوء التي تتراوح من فوتون واح د عند العتبة)في الظلام شبه التام(إلى 10 مليارات مرة أكثر سطوعًا) شدة ضوء الشمس الساطع المنعكس من الثلج(. التكيف الضوئي هو تعديل في الرؤية يحدث عندما تنتقل من منطقة مظلمة أو ضعيفة ا لإضاءة إلى ضوء أكثر سطوعًا. إذا استيقظت في الليل وأشعلت مص باحًا، في البداية سترى وهجًا قاسيًا؛ قد تشعر بعدم الراحة بسبب تح فيز الشبكية المفرط. تتقلص حدقاتك بسرعة لتقليل شدة التحفيز، ل كن رؤية الألوان والدقة البصرية)القدرة على رؤية التفاصيل الدقيقة(تظل أقل من الطبيعي لمدة 5 إلى 10 دقائق — وهي المدة اللازمة ل تبييض الصبغة لتعديل حساسية الشبكية لهذه الشدة الضوئية.

طول موجة 500 نانومتر. القضبان أقل حساسية للضوء بأطوال موجية أخرى ولا يمكنها التمييز بين لون وآخر.
في المخاريط، يُسمى الصباغ فوتوبسين. الجزء الشبكي له هو ن فس جزء الرودوبسين، لكن جزء الأوبسين يحتوي على تسلسل مختل ف من الأحماض الأمينية يحدد الأطوال الموجية للضوء التي يمتصها الصباغ. هناك ثلاثة أنواع من المخاريط، متطابقة في المظهر لكنها تم تص أطوال موجية مختلفة من الضوء بشكل مثالي. هذه الاختلافات تمكننا من إدراك ألوان مختلفة.

توليد إشارة العصب البصري

الأحداث المتعلقة بالتحويل الحسي معروفة جيدًا في القضبان. في الظلام، يكون الشبكي لها شكل منحنى يسمى *الشبكي السيس*.(cis-retinal) ع ند امتصاصه للضوء، يتحول إلى شكل مستقيم يسمى *الشبكي الترانس* (trans-retinal) وينفصل عن الأوبسين)الشكل 16.39(. يُسمى هذا التبييض لأن الرودوبسين النقي يتغير من اللون البنفسجي إلى عديم اللون في الضوء. لكي يستمر القضيب في العمل، يجب تحويل *الشبكي ا لترانس* مرة أخرى إلى الشكل *السيس* وإعادة الاتحاد مع الأوبسين، مما ينتج رودوبسين وظيفي بمعدل يواكب التبييض.
يتم تجديد خمسون بالمئة من الرودوبسين المبيض خلال حوالي 5 د قائق. المخاريط أسرع ويتم تجديد فوتوبسينها بنسبة 50% خلال حوال ى 90 ثانية.

في الظلام، لا تبقى القضبان ساكنة بلا عمل. فهي تفرز باستمرار الناقل العصبي الجلو تامات من الطرف القاعدي للخلية)الشكل 16.40أ(. عند امتصاص القضيب للضوء، يتوق ف إفراز الجلوتامات)الشكل 16.40ب(. لن نتعمق في التفاصيل الميكانيكية لسبب حدو ث ذلك. النقطة المهمة هي أن الخلايا الثنائية القطبية، التي تليها، حساسة لهذه النبضات ا لمتقطعة من إفراز الجلوتامات. بعض الخلايا الثنائية القطبية تُثبط بواسطة الجلوتامات وتُ ثار عندما يتوقف إفرازها؛ لذلك تُثار هذه الخلايا بزيادة شدة الضوء. خلايا ثنائية قطبية أخرى تُثار بواسطة الجلوتامات وبالتالي تستجيب عندما تنخفض شدة الضوء.



الشكل 16.39 تبييض وإعادة توليد الرودوبسين. الأرقام من 1 إلى 4 تشير إلى أحداث التبييض التى تحدث فى الضوء؛ الأرقام 5 و6 تشير إلى أحداث التجديد التى تكون مستقلة عن الضوء. تحدث أحداث التجديد فى الضوء والظلام، ولكن فى الضوء، تتفوق عليها عمليات التبييض.

خلايا العقدة. يتقارب ما يصل إلى 600 قضيب على كل خلية ثنائية القطب، وتتقارب العديد من خلايا ثنائية القطب على كل خلية عقدة. هذا يسمح بدرجة عالية من *التجميع المكانى* (الشكل 16.41أ). يمكن لتحفيز ضعيف للعديد من القضبان أن ينتج تأثيرًا تراكميًا على خلية ثنائية القطب واحدة، ويمكن لعدة خلايا ثنائية القطب التعاون لإثارة خلية عقدة واحدة. وهكذا، يمكن لخلية العقدة أن تستجيب فى الضوء الخافت الذى يحفز أى قضيب فردى بشكل ضعيف فقط. الرؤية الظلامية (سكوتوبية) تعمل حتى عند شدة ضوء أقل من ضوء النجوم المنعكس من ورقة بيضاء. من عيوب هذا النظام أنه لا يمكنه تمييز الصور ذات التفاصيل الدقيقة. تستقبل خلية العقدة مدخلات من جميع القضبان فى حوالى 1 مم^2 من الشبكية — وهو مجالها الاستقبالى. لذلك، ما يدركه الدماغ هو صورة خشنة وحبيبية تشبه صورة مكبرة بشكل مفرط أو صورة رقمية منخفضة الدقة.

حول حواف الشبكية، تكون خلايا المستقبلات كبيرة وواسعة التباعد بشكل خاص. إذا ركزت نظرك على وسط هذه الصفحة، ستلاحظ أنك لا تستطيع قراءة الكلمات بالقرب من الهوامش.

تتناقص حدة البصر بسرعة مع ابتعاد الصورة عن البقعة المركزية (الفوفيا). رؤيتنا المحيطية هى نظام منخفض الدقة يخدم بشكل رئيسى لتنبيهنا إلى الحركة فى المحيط ولحثنا على النظر فى ذلك الاتجاه لتحديد ما يوجد هناك.

عندما تنظر مباشرة إلى شىء ما، تقع صورته على البقعة المركزية، التى تشغلها حوالى 4000 مخروط صغير ولا توجد قضبان. تُزاح الخلايا العصبية الأخرى فى البقعة المركزية إلى جانب واحد حتى لا تعيق الضوء الساقط على المخاريط، ولا توجد شعيرات دموية فى البقعة المركزية لتعترض الطريق. صغر حجم هذه المخاريط يشبه صغر حجم النقاط أو البيكسلات فى صورة ذات حبيبات دقيقة (عالية الدقة)

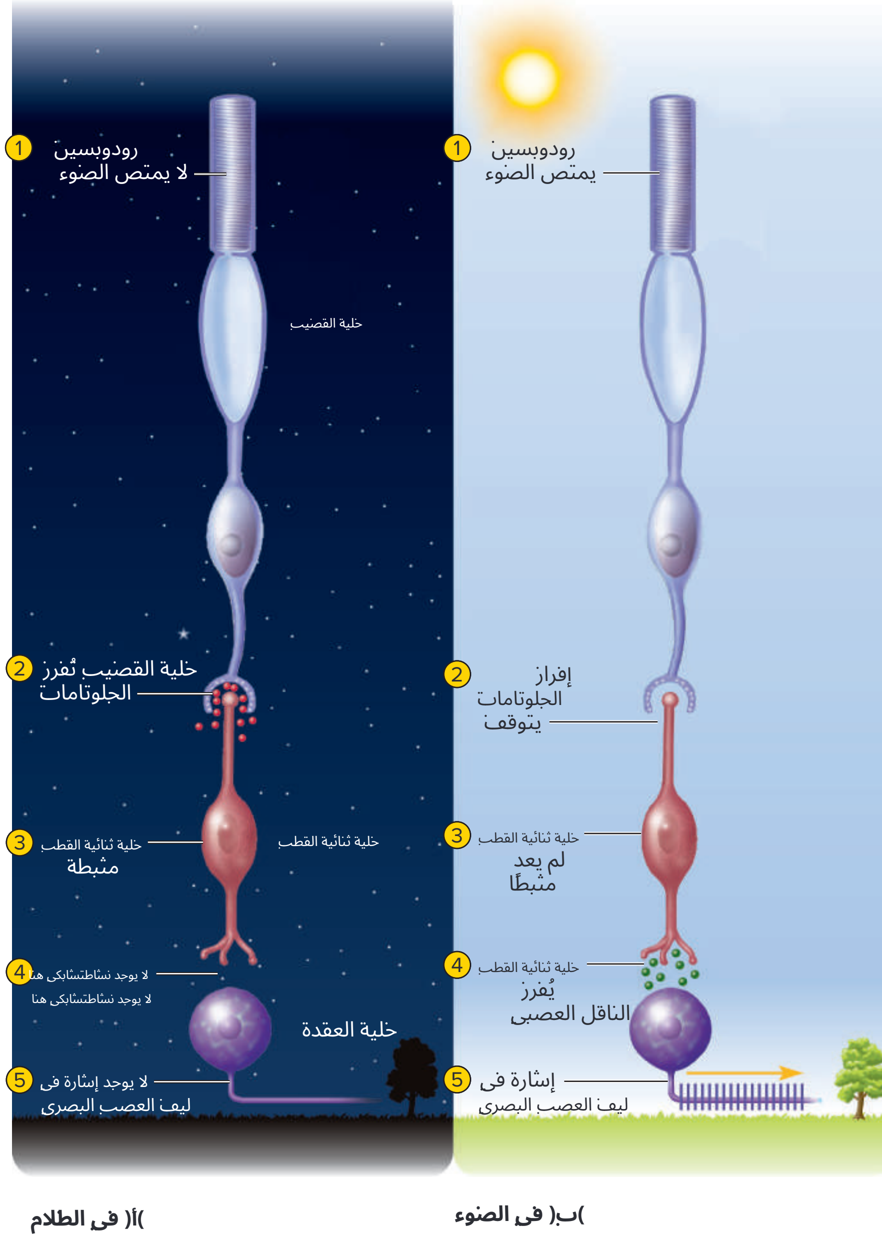
تبيض القضبان بسرعة فى الضوء الساطع، وتتولى المخاريط المهمة. حتى فى الضوء الداخلى النموذجى، تكون رؤية القضبان غير فعالة.

من ناحية أخرى، افترض أنك جالس فى غرفة مضاءة جيدًا تقرأ فى الليل، وحدث انقطاع فى التيار الكهربائى. يجب على عينيك أن تخضعا لتكيف الظلام قبل أن تتمكن من الرؤية بشكل كافٍ لإيجاد طريقك فى الظلام. لا يوجد ضوء كافٍ للرؤية المخروطية (الضوئية)، ويستغرق الأمر بعض الوقت لتكيف القضبان (الرؤية الظلامية) مع الظلام. تم تبييض صبغة القضبان الخاصة بك بواسطة الأضواء فى الغرفة أثناء تشغيل التيار، ولكن الآن فى غياب الضوء النسبى، يتجدد الرودوبسين أسرع مما يُبيض. خلال دقيقة أو دقيقتين، تبدأ الرؤية الظلامية فى العمل، وبعد 20 إلى 30 دقيقة، تكون كمية الرودوبسين المتجددة كافية لتصل عيناك إلى أقصى حساسية تقريبًا. كما يساعد اتساع الحدقتين بزيادة دخول الضوء إلى العين.

16.5 جرام النظام البصرى المزدوج

قد تتساءل لماذا لدينا كل من القضبان والمخاريط. لماذا لا يمكننا أن نمتلك نوعًا واحدًا من خلايا المستقبلات التى تنتج رؤية ملونة مفصلة فى كل من النهار والليل؟ نظرية ازدواجية الرؤية تفترض أنه لا يمكن لنظام مستقبلات واحد أن يوفر كلًا من الحساسية العالية والدقة العالية. يتطلب الأمر نوعًا واحدًا من الخلايا والدائرة العصبية لتوفير رؤية ليلية حساسة ونوعًا مختلفًا لتوفير رؤية نهارية عالية الدقة.

تنشأ الحساسية العالية للقضبان فى الضوء الخافت جزئيًا من التقارب العصبى الواسع الذى يحدث بين القضبان و



)أ(فى الظلام **)ب(فى الضوء**

الشكل 16.40 آلية توليد الإشارات البصرية.)أ(فى الظلام التام، تكون خلايا القضيب نشطة بينما بعض الخلايا ثنائية القطب وخلايا العقدة غير نشطة.)ب(عند امتصاص خلايا القضيب للضوء، يتم تثبيطها وتُفعّل هذه الخلايا الثنائية القطب وخلايا العقدة. يُعتقد أن المخاريط تعمل بطريقة مشابهة. بعض الخلايا الثنائية القطب تتصرف بشكل مختلف عن النوع المستخدم فى هذا المثال.

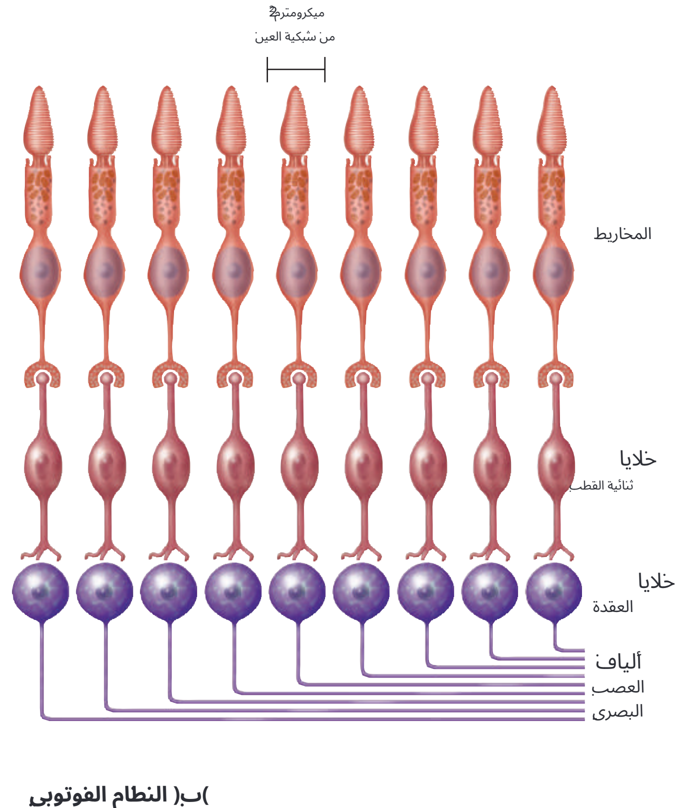
طبق ما تعرفه

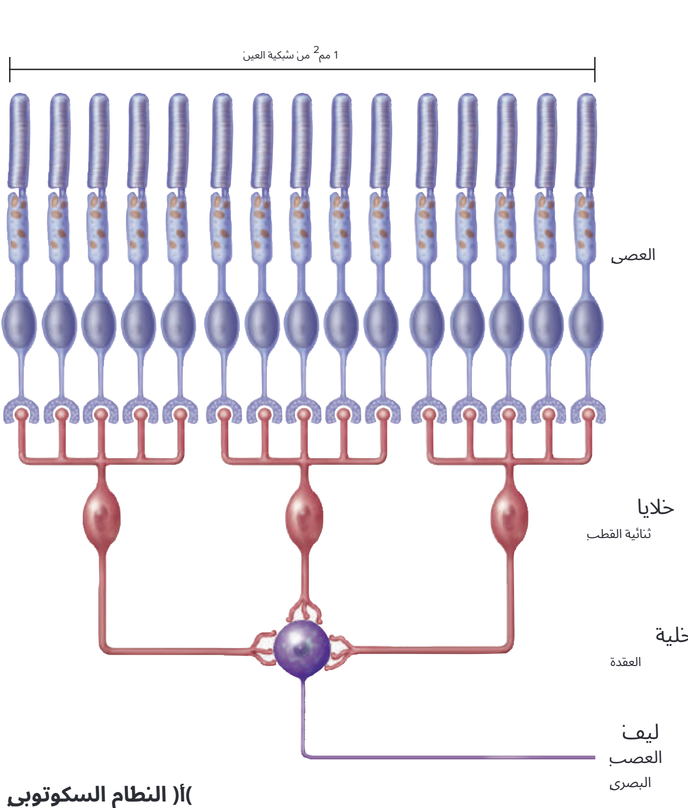
إذا نظرت مباشرة إلى نجم خافت فى سماء الليل، فإنه يختفى، وإ ذا نظرت قليلاً بعيدًا، فإنه يظهر مرة أخرى. لماذا؟

16.5هـ الرؤية اللونية

معطم الفقاريات الليلية تمتلك فقط خلايا القضبان، لكن العديد من ا لحيوانات النهارية مزودة بالمخاريط والرؤية اللونية. الرؤية اللونية متطو رة بشكل خاص فى الرئيسيات لأسباب تطورية نوقشت فى الفصل ا لأول. وهى تعتمد على ثلاثة أنواع من المخاريط المسماة حسب قمم ا متصاص فوتوبسيناتها: المخاريط ذات الطول الموجى القصير)S(، ذ ات الحساسية القصوى عند طول موجى

الصورة؛ فهى مسؤولة جزئياً عن الصور عالية الدقة المشكلة فى البقعة ا لمركزية)الفوفيا(. بالإضافة إلى ذلك، لا تظهر المخاريط هنا أى تقارب ع صبى. كل مخروط يتشابك مع خلية ثنائية القطب واحدة فقط، وكل خل ية ثنائية القطب مع خلية عقدية واحدة فقط. هذا يمنح كل مخروط فى ا لفوفيا "خطًا خاصًا إلى الدماغ"، وكل خلية عقدية فى الفوفيا تبلغ الدماغ عن مجال استقبال لا يتجاوز 2 ميكرومتر^2 من مساحة الشبكية)الشكل 16.41ب(. المخاريط البعيدة عن الفوفيا تظهر بعض التقارب العصبى لكن ليس بنفس مقدار ما تفعله القضبان. ومع ذلك، فإن ثمن هذا النقص فى التقارب فى الفوفيا هو أن خلايا المخروط غير قاد رة على التجميع المكانى، وبالتالى فإن نظام المخاريط أقل حساسية ل لضوء. عتبة الرؤية الضوئية)المخروطية(تقع بين شدة ضوء النجوم و ضوء القمر المنعكس من الورق الأبيض.





الشكل 16.41 دائرة الشبكية والحساسية البصرية.)أ(في النظام السكوتوبي)الرؤية الليلية(، تتقارب العديد من خلايا القضيب على كل خلية ثنائية القطب وتتقارب العديد من الخلايا الثنائية القطب على كل خلية عقدة. لاحظ الحقل الاستقبالي الكبير)1 مم^2(، مما يجعل هذا النظام منخفض الدقة.)ب(في النظام الفوتوبي)الرؤية النهارية(، هناك تقارب عصبي قليل. لاحظ الحقل الاستقبالي الصغير)2 ميكرومتر2(، مما يجعل هذا النظام عالي الدقة.

16.5i الرؤية المجسمة

الرؤية المجسمة)الاستيريوبسيس(هي إدراك العمق – القدرة على تق دير مدى بعد الأشياء. تعتمد على وجود عينين لهما حقول بصرية متدا خلة، مما يسمح لكل عين بالنظر إلى نفس الجسم من زاوية مختلفة. تختلف الرؤية المجسمة عن الرؤية البانورامية لدى الثدييات مثل القوا رض والخيول، حيث تكون العينان على جانبي الرأس. على الرغم من أ ن الرؤية المجسمة تغطي مجالًا بصريًا أصغر من الرؤية البانورامية وتو فر تنبيهًا أقل للمفترسين المتسللين، إلا أنها تتميز بإدراك العمق. تم شرح الأساس التطوري لرؤيتنا المجسمة إلى جانب رؤية الألوان في ا لقسم 1.4b.

عندما تركز على شيء على بعد 30 مترًا)100 قدم(، ترى كل عين الجسم من زاوية مختلفة قليلاً وتركز صورته على البقعة المركزية)الفو فيا(. النقطة في الفضاء التي تركز عليها العينان تسمى نقطة التثبيت. الأشياء الأبعد من نقطة التثبيت تلقي صورة إلى الجانب الأنسي من ا لفوفيا، والأشياء الأقرب تلقي صورها إلى الجانب الوحشي)الشكل 1 6.44(. توفر المسافة بين الصورة على الفوفيا لكلتا العينين معلومات للدماغ تُستخدم لتقدير موقع نقاط أخرى بالنسبة لنقطة التثبيت.

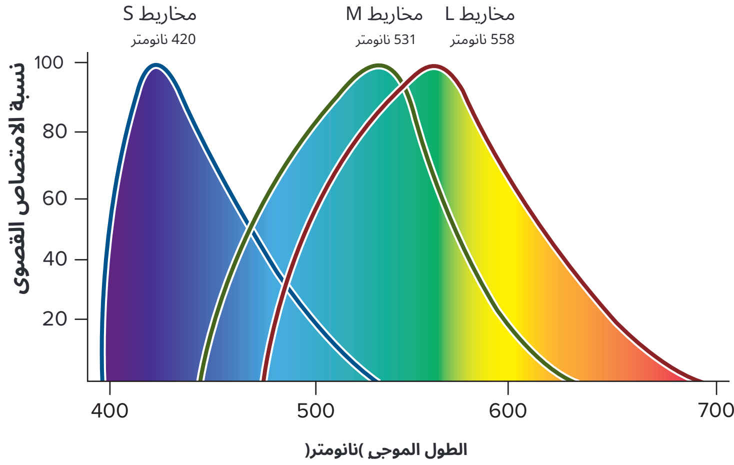
16.5j مسار الإسقاط البصري

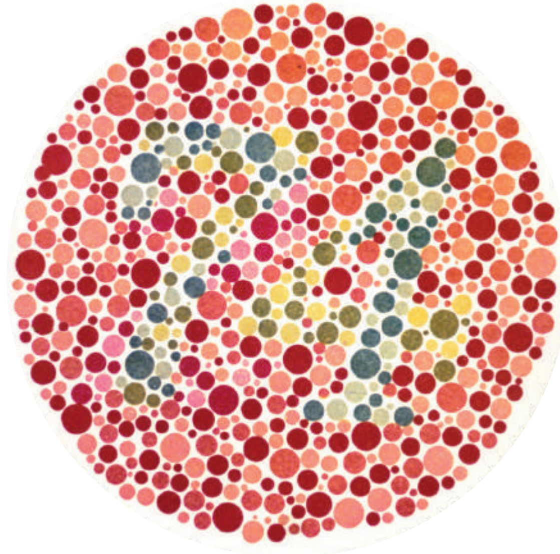
تنبثق الأعصاب البصرية من خلايا العقد الشبكية وتخرج من كل محج ر عبر القناة البصرية. تتقارب لتشكل حرف X، وهو

420 نانومتر؛ المخاريط ذات الطول الموجي المتوسط)M(، التي تبلغ ذروتها عند 531 نانومتر؛ و المخاريط ذات الطول الموجي الطويل)L(، التي تبلغ ذروتها عند 558 نانومتر. كانت هذه تسمى سابقًا *المخاريط الزرقاء، الخضراء، والحمراء*— وهو مصطلح أقل دقة. على سبيل المثال، المخاريط "الحمراء" لا تبلغ ذروتها في الجزء الأحمر من الطيف)يُدرك ضوء 558 نانومتر كلون برتقالي-أصفر(، لكنها هي المخار يط الوحيدة التي تستجيب على الإطلاق للضوء الأحمر.

إدراكنا للألوان يعتمد على مزيج من الإشارات العصبية التي تمثل المخاريط ذات قمم الامتصاص المختلفة. في الشكل 16.42، لاحظ أ ن الضوء عند 400 نانومتر يثير فقط المخاريط S. عند 500 نانومتر، ي تم تحفيز جميع أنواع المخاريط الثلاثة؛ حيث تستجيب المخاريط L بن سبة 60% من أقصى قدرتها، والمخاريط M بنسبة 82% من أقصى ق درتها، والمخاريط S بنسبة 20%. يفسر الدماغ هذا المزيج على أنه أزر ق-أخضر. الجدول في هذا الشكل يوضح كيف ينتج إدراك ألوان أخرى من نسب استجابة مختلفة.

بعض الأفراد لديهم تغير وراثي أو نقص في أحد الفوتوبسينات م ما يؤدي إلى ظهور عمى الألوان. الشكل الأكثر شيوعًا هو عمى الألوان ا لأحمر-الأخضر، والذي ينتج عن نقص في المخاريط L أو M ويسبب صعوبة في التمييز بين هذه الألوان وظلالها المرتبطة بها. على سبيل ا لمثال، الشخص ذو الرؤية اللونية ثلاثية الألوان الطبيعية يرى في الش كل 16.43 الرقم 74، بينما الشخص المصاب بعمى الألوان الأحمر-الأ خضر لا يرى أي رقم. عمى الألوان الأحمر-الأخضر هو صفة متنحية مر تبطة بالجنس. يحدث في حوالي 8% من الذكور و0.5% من الإناث.





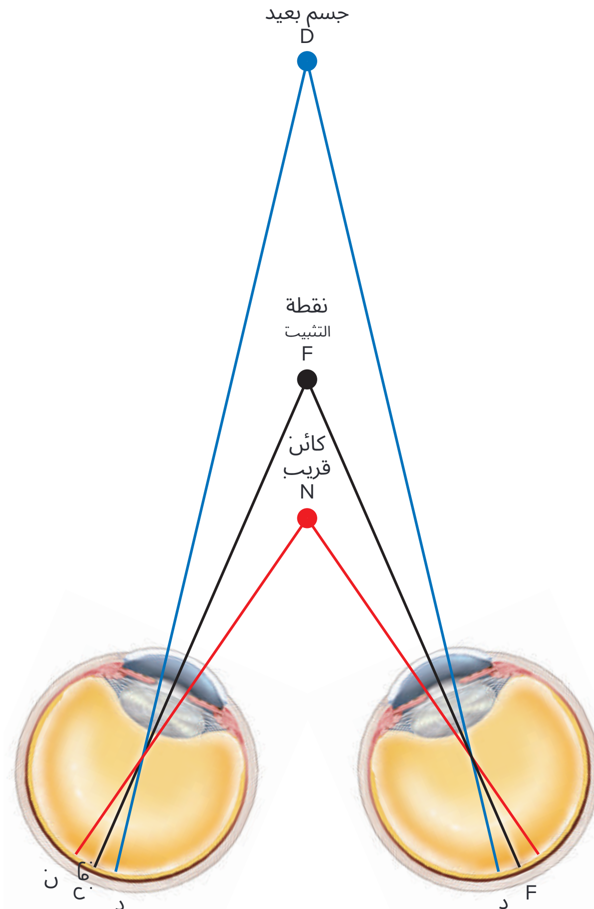
الشكل 16.43 اختبار عمى الألوان الأحمر-الأخضر. الأشخاص ذوو الرؤية الطبيعية يرون الرقم 74. الأشخاص المصابون بعمى الألوان الأحمر-الأخضر لا يرون أى رقم واضح.

ستيف ألين/براند إكس بيكتشرز/غيتى إيماجز

الطول الموجى)نانومتر(	نسبة الاستجابة القصوى للمخروط (S : M : L)	اللون المدرك
400450500550625675	50 : 0 : 0	بنفسجى
	72 : 30 : 0	أزرق
	20 : 82 : 60	أزرق-أخضر
	0 : 85 : 97	أخضر
	0 : 3 : 35	برتقالى
	0 : 0 : 5	أحمر

الشكل 16.42 طيف امتصاص خلايا الشبكية. فى العمود الأوسط من الح دول، يشير كل رقم إلى مدى استجابة خلايا المخاريط المعنية كنسبة م ئوية من أقصى قدرة لها عند شدة ضوء معينة. على سبيل المثال، عند 55 0 نانومتر، تستجيب مخاريط L بنسبة 97% من أقصى قدرة لها، ومخاريط M بنسبة 85%، ومخاريط S لا تستجيب على الإطلاق. الن تيجة هى إدراك الضوء الأخضر.

إذا كنت ستضيف صفًا آخر لهذا الجدول عند 600 نانومتر، ماذا ستدخل فى العمودين الأوسط والأيمن؟

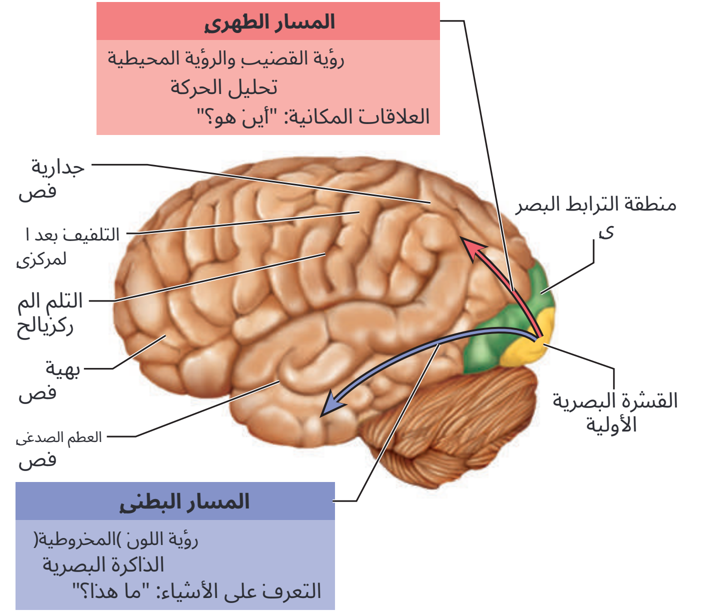


الشكل 16.44 الأساس الشبكى للرؤية المجسمة)إدراك العمق(. عند ما تتقارب العينان على نقطة التثبيت)F(، يتم تركيز الأجسام الأبعد)D(على الشبكية إلى الجانب الأنسى من الفوفيا ويفسرها الدماغ على أنها أبعد م ن نقطة التثبيت. الأجسام القريبة)N(تتركز على الجانب الوحشى من ال فوفيا وتفسر على أنها أقرب.

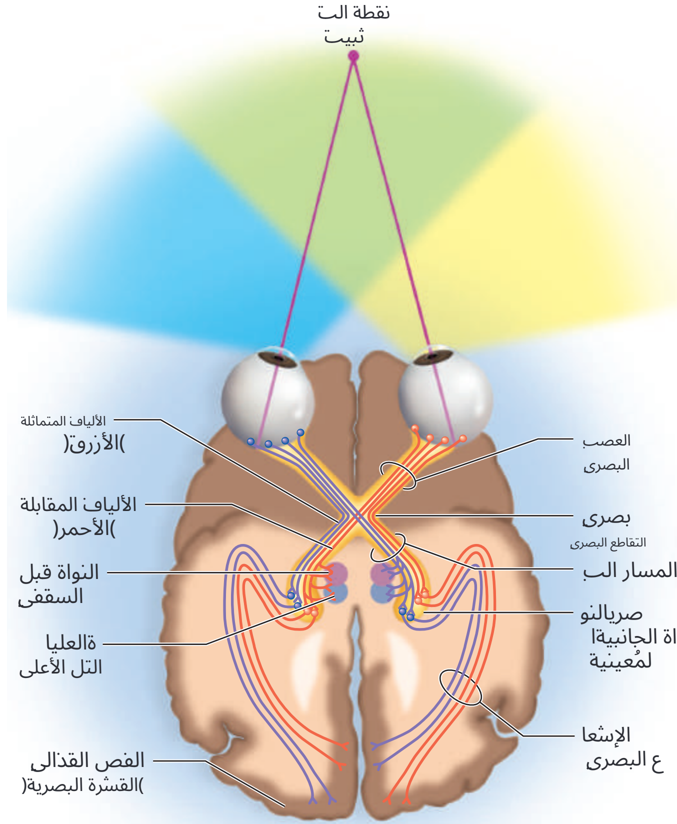
التقاطع البصرى [63]كى-آز-أم(، على قاعدة الدماغ أمام الغدة النخامية. بعد ذلك، تستمر نفس الألياف كزوج من المسارات البصرية. داخل التشابك، يعبر نصف الألياف من كل عصب بصرى إلى الح انب المقابل من الدماغ)الشكل 16.45(. يُطلق على هذا اسم نصف ا لتقاطع)hemidecussation(، [64]لأن نصف الألياف فقط يتقاطع. نتيجة لذلك، يرى نصف الكرة المخى الأيمن الأشياء فى المجال البصر ى الأيسر، لأن صورها تقع على النصف الأيمن من كل شبكية)النص ف الإنسى للعين اليسرى والنصف الوحشى للعين اليمنى(. يمكنك تتبع ألياف الأعصاب من كل نصف شبكية فى الشكل لترى أنها تؤ دى إلى نصف الكرة المخى الأيمن. وعلى العكس من ذلك، يرى نصف الكر ة المخى الأيسر الأشياء فى المجال البصرى الأيمن. بما أن الدماغ الأيمن يتحكم فى الاستجابات الحركية على الجانب الأيسر من الجسم والعكس صحيح، فإن كل جانب من الدماغ يرى ما هو على جانب الجسم الذى يمار س عليه السيطرة الحركية. فى الخيول والحيوانات الأخرى ذات الرؤية البان ورامية، يعبر ما يقرب من 100% من ألياف العصب البصرى للعين اليمن ى إلى الدماغ الأيسر والعكس بالعكس.

تنتهى معظم محاور الأعصاب لمسارات البصر فى النواة الجانبية الركبية)lateral ge niculate nucleus(فى المهاد. تنشأ الخلايا العصبية من الدرجة الثالثة

[63] *التقاطع* = تقاطع، X
[64] *نصف* = نصف؛ *التقاطع* = عبور، تشكيل حرف X
[65] *ركبى* = منحنى مثل الركبة



الشكل 16.46 المسارات الظهرية والبطنية لمعالجة المعلومات البصر
ية.



الشكل 16.45 مسار الإسقاط البصري. مخطط
نصف التقاطع والإسقاط إلى القشرة البصرية الأولية. يشير اللونان الأزرق
والأصفر إلى حقول الرؤية للعين اليسرى واليمنى؛
والأخضر يشير إلى منطقة التداخل والرؤية المجسمة. الألياف العصبية
من الجانب الوسيط للعين اليمنى (الأحمر) تعبر إلى
الجانب الأيسر من الدماغ، بينما تبقى الألياف من الجانب الجانبي
على الجانب الأيمن من الدماغ. والعكس صحيح بالنسبة للعين اليسرى.
وبالتالي يراقب الفص القذالي الأيمن الجانب الأيسر من مجال الرؤية
ويراقب الفص القذالي الأيسر الجانب الأيمن.

إذا دمر السكتة الدماغية الإشعاع البصري في نصف الكرة المخية الأيم
ن، كيف سيؤثر ذلك على رؤية الشخص؟ هل سيؤثر ذلك على ردود ا
لفعل البصرية للشخص؟

هنا وتشكل الإشعاع البصري من الألياف في المادة البيضاء للمخ. هذ
ه الألياف تمتد إلى القشرة البصرية الأولية في الفص القذالي، حيث
يحدث الإدراك البصري الواعي. يمكن أن تسبب الآفات على طول هذ
ه المسارات أو في الفص القذالي العمى حتى لو كانت العيون تعمل
بشكل كامل، مع تأثيرات مختلفة على عين واحدة أو كلتا العينين، وجز
ء أو كل مجال الرؤية لأي من العينين، اعتمادًا على مكان حدوث الآفة.
تأتي بعض ألياف العصب البصري من خلايا العقدة الحساسة لل
ضوء التي تحتوي على الميلانوبسين وتتخذ مسارًا مختلفًا، وتنتهي في
التلال العلوية والنوى قبل المهادية في الدماغ الأوسط. تتحكم التلال ا
لعلوية في ردود الفعل البصرية لعضلات العين الخارجية، وتشارك النو
ى قبل المهادية في ردود فعل الحدقة الضوئية وردود فعل التكيف.

المساحة لا تسمح لنا بالتفكير كثيرًا في العمليات المعقدة جدًا لم
عالجة المعلومات البصرية في الدماغ. بعض المعالجات، مثل التباين،
السطوع، الحركة، والرؤية المجسمة، تبدأ في الشبكية.

يقوم القشرة البصرية الأولية بإرسال المعلومات إلى مناطق الترابط في الفص ا
لصدغي والفص الجداري لمزيد من المعالجة (الشكل 16.46). أحد المسارات، ا
لمسمى المسار البطني، يمتد إلى الأمام عبر الفص الصدغي السفلي. ينقل إشا
رات بشكل رئيسي من خلايا المخروط والجزء المركزي من الشبكية.
يرتبط هذا المسار بالرؤية اللونية، والتعرف على الأشياء، والذاكرة الب
صرية، بما في ذلك قدرتنا على القراءة، والتعرف على الوجوه، وتحديد أ
شياء أخرى نراها. أما المسار الآخر، المسمى المسار الظهري، فيمتد إ
لى الأمام عبر الفص الجداري العلوي. ينقل إشارات بشكل رئيسي من
خلايا القضبان والشبكية المحيطية. وهو معني بالتعرف على مواقع وع
لاقات الأشياء المكانية وتحليل الحركة.

ما لم يُكتشف بعد عن معالجة الرؤية له آثار مهمة على علم الأحيا
ء، والطب، وعلم النفس، وحتى الفلسفة.

تُوصف تأثيرات التقدم في العمر على الحواس—وخاصة التذوق، وا
لشم، والسمع، والرؤية—في قسم "أعضاء الحواس" في القسم 29.4a.

بل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

24. لماذا لا يمكننا رؤية الأطوال الموجية 350 نانومتر أو 750 نانومتر؟
25. لماذا تنحنى (تُنكسر) أشعة الضوء أكثر بواسطة القرنية مقارنة بالعدسة؟
26. أدرج أكبر عدد ممكن من الاختلافات الهيكلية والوظيفية بين العصي والمخاريط.
27. اشرح كيف يؤدي امتصاص فوتون من الضوء إلى إثارة ليف العصب البصري.
28. ناقش نظرية الازدواجية في الرؤية، ملخصًا ميزة وجود أنواع من فصلة من خلايا المستقبلات الضوئية الشبكية والدوائر العصبية للرؤية الضوئية (الفوتوبية) والرؤية الليلية (السكوتوبية).



نظرة أعمق 16.4

التاريخ الطبي

التخدير—من مرح الإيثر إلى الجراحة الحديثة

الجراحة قديمة قدم الحضارة. مارس الناس من العصر الحجري إلى حضارات ما قبل كولومبيا في الأمريكتين الثقبة—قطع فتحة في الجمجمة لإخراج "الأرواح الشريرة" التي كان يُعتقد أنها تسبب الصداع. كان الهنود القدماء جراحين بارعين في زمنهم، وكان اليونانيون والرومان رواد الجراحة العسكرية. لكن حتى القرن التاسع عشر، كانت الجراحة عملاً بائسًا وخطيرًا، يُجرى فقط كملاذ أخير وبأمل ضئيل في بقاء المريض على قيد الحياة. نادرًا ما حاول الجراحون إجراء أي شيء أكثر تعقيدًا من البتر أو إزالة حصى الكلى. كان على الجراح أن يكون غير مبالٍ إلى حد ما بمعاناة وصراخ المريض. كان يجب إتمام معظم العمليات في 3 دقائق أو أقل، وكانت القوة البدنية والقدرة على التحمل أهم مؤهلات للجراح من المعرفة التشريحية الواسعة.

كان هناك على الأقل ثلاثة أشياء لازمة لجعل الجراحة أكثر فعالية:
معرفة أفضل بالتشريح، التعقيم[66] للسيطرة على العدوى، و التخدير [67] للسيطرة على الألم. كانت المحاولات المبكرة للسيطرة على ألم الجراحة بدائية وعادة ما تكون غير فعالة، مثل خنق المرضى حتى يفقدوا الوعي ومحاولة إتمام الجراحة قبل أن يستيقظوا. كان يُستخدم الكحول والأفيون غالبًا كمخدرات، لكن الجرعة كانت غير مضبوطة جيدًا؛ بعض المرضى كانوا يعانون من ألم شديد بسبب نقص التخدير، وآخرون ماتوا بسبب الجرعات الزائدة. غالبًا لم يكن هناك بديل سوى أن يمسك بعض المساعدين الأقوياء بالمريض المكافح أثناء عمل الجراح. كان تشارلز داروين ينوي في الأصل أن يصبح طبيبًا، لكنه ترك كلية الطب لأنه شعر بالاشمئزاز من مشاهدة "عمليتين سيئتين جدًا، إحداهما لطفل"، في الأيام التي سبقت التخدير.

في عام 1799، اقترح الكيميائي الإنجليزي السير همفري ديفي استخدام أكسيد النيتروز لتخفيف الألم. واقترح تلميذه، مايكل فاراداي، الفيزيائي المرموق لاحقًا، استخدام الإيثر. ومع ذلك، لم تنتشر أي من هاتين الفكرتين لعدة عقود. كان أكسيد النيتروز)"غاز الضحك"(وسيلة ترفيه شعبية في القرن التاسع عشر، حيث كان العروض المتجولة تنتقل من مدينة إلى أخرى لتجربة تأثيره على المتطوعين من الجمهور. في عام 1841، في عرض طبي في جورجيا، تأثر بعض الطلاب بضحكات المتطوعين النشوة وحركاتهم، وطلبوا من طبيب محلي شاب، كروفورد دبليو. لونغ، إذا كان بإمكانه تحضير بعض أكسيد النيتروز لهم.

كان لونغ يفتقر إلى المعدات اللازمة لتصنيعه، لكنه أوصى بتجربة الإيثر. كان الإيثر يُستخدم عادة بجرعات صغيرة عن طريق الفم لآلام الأسنان و"الأمراض العصبية"، لكن شهرته الرئيسية كانت كدواء للحفلات لما يُسمى بـ "مرح الإيثر". كان لونغ نفسه شخصًا محبًا للحياة، يقدم عروضًا لبعض الشابات، مع التنبيه بأنه لا يمكن تحميله المسؤولية عن أي شيء قد يفعله تحت تأثير الإيثر)مثل سرقة قبلة(.

في هذه الحفلات، لاحظ لونغ أن الناس يسقطون أحيانًا ويتعرضون لجروح وكدمات كبيرة دون أن يشعروا بالألم. في عام 1842، كان لديه مريض يخاف من الألم لكنه كان بحاجة إلى إزالة ورم من رقبته. استأصل لونغ الورم بسهولة بينما كان المريض يستنشق الإيثر من منشفة. أحدثت العملية ضجة في المدينة، لكن الأطباء الآخرين سخروا من لونغ واعتبروا التخدير خطيرًا.

تراجع عمله الطبي مع تزايد خوف الناس منه، لكن مع مرور الوقت

خلال السنوات الأربع التالية أجرى ثماني عمليات جراحية بسيطة أخرى على المرضى تحت تأثير الإيثر. في محاولة لتجاوز الانتقادات التي قالت إن التأثيرات التي رآها كانت مجرد اقتراحات تنويمية أو اختلافات فردية في حساسية الألم، قارن لونغ حتى العمليات التي أُجريت على نفس الشخص مع وبدون الإيثر.

فشل لونغ في نشر نتائجه بسرعة كافية، وفي عام 1844 تفوق عليه طبيب أسنان من كونيتيكت، هوراس ويلز، الذي جرب أكسيد النيتروز كمخدر أسنان. طبيب أسنان آخر، ويليام مورتون من بوسطن، جرب كل شيء من الشمبانيا إلى الأفيون لقتل الألم لدى مرضاه. أصبح هو الآخر مهتمًا بالإيثر وأجرى عرضًا في مستشفى ماساتشوستس العام، حيث خدر مريضًا بالإيثر وأزال ورمًا أمام جمهور طبي. خلال شهر من هذا العرض الناجح والمثير، بدأ استخدام الإيثر في مدن أخرى في الولايات المتحدة وإنجلترا. سجل مورتون براءة اختراع "الصيغة السرية" التي أطلق عليها اسم Letheon الخاص بمورتون، [68] والتي كانت تفوح منها رائحة الإيثر بشكل مريب، لكنه في النهاية أفلس في محاولة جشعة للاحتكار تخدير الإيثر، وتوفي فقيرًا. قبره بالقرب من بوسطن يحمل النقش التالي:

ويليام ت. ج. مورتون
مخترع وكاشف استنشاق المخدر
الذي كان أمامه، في كل الأوقات، الجراحة عذابًا.
الذي بفضله تم تجنب وإلغاء الألم في الجراحة.
ومنذ ذلك الحين أصبحت العلوم تتحكم في الألم.

ويلز، الذي كان منخرطًا في نزاع مرير ليثبت نفسه كمخترع تخدير الإيثر، انتحر عن عمر يناهز 33 عامًا.
أدار كروفورد لونغ عيادة طبية ناجحة في أثينا، جورجيا، ولكنه ظل حتى وفاته يشعر بخيبة أمل لأنه لم ينل الاعتراف بكونه أول من أجرى جراحة على مرضى مخدرين بالإيثر. تم تسمية مستشفى جامعة إيموري ميدتاون في أتلانتا باسم كروفورد و.

مستشفى لونغ التذكاري من عام 1931 إلى 2009 تكريماً له.
أصبح الإيثر والكلوروفورم قديمين عندما تم تطوير مخدرات أكثر أمانًا. المخدرات العامة مثل الإيزوفلوران تجعل المريض فاقدًا للوعي عن طريق عبور حاجز الدم-الدماغي وحجب النقل العصبي عبر جذع الدماغ. بعض المخدرات العامة تخفف الألم عن طريق تنشيط مستقبلات GABA والتسبب في تدفق Cl^-، مما يؤدي إلى فرط استقطاب الخلايا العصبية ويجعلها أقل احتمالًا لإطلاق الإشارات العصبية. يستخدم الديازيبام)فاليوم(أيضًا هذه الآلية. المخدرات الموضعية مثل البروكائين)نوفوكائين(والتيتراكاين تخفف الألم بشكل انتقائي في أعصاب محددة. فهي تقلل من نفاذية الأغشية إلى Na^+، مما يقلل من قدرتها على توليد جهد الفعل.

معرفة جيدة بالتشريح، والسيطرة على العدوى والألم، وتطوير أدوات أفضل احتمعت لتمنح الجراحين وقتًا لإجراء العمليات بحذر أكبر. ونتيجة لذلك، أصبحت الجراحة أكثر تحديًا فكريًا وإثارة للاهتمام. وقد جذبت فئة أكثر تعليمًا من الممارسين، مما وضعها على طريق أن تصبح النهج الرائع لإنقاذ الحياة الذي هي عليه اليوم.

[66] *a* = بدون؛ *تعفن الدم* = عدوى

[67] *an* = بدون؛ *استثيا* = شعور، إحساس

[68] *ليثي* = النسيان، الغفلة

دراسة دليل

قيّم نتائج تعلمك

7. الهياكل العطمية والغشائية للدهليز فى الأذ ن الداخلية؛ أسماء وتوزيع السائلين الداخليين للأذن بالنسبة للدهليزات
8. حجم وشكل القوقعة وعلاقتها بالموديولوس
9. التشريح العرضى للقوقعة
10. هيكل العضو الحلزونى، خاصة خلايا الشعر وا لغشاء الغطائى؛ الفروق بين خلايا الشعر الد اخلية والخارجية
11. وظيفة عظيمات وأوتار الأذن الوسطى؛ ك يف يعمل رد فعل الطبلة وكيف يحمى السمع
12. كيف تؤدى اهتزازات غشاء الطبلة إلى تحفيز العصب القوقعى
13. كيف ترمز القوقعة للاختلافات فى نغمة الصو ت وشدته
14. كيف تضبط خلايا الشعر الخارجية القوقعة لتحسين حساسيتها للاختلافات فى النغمة
15. المسار من العصب القوقعى إلى مراكز السم ع فى الدماغ؛ مسار التغذية الراجعة من الجسر إلى القوقعة، وغرضه
16. الاختلافات بين التوازن الساكن والديناما كى وبين التسارع الخطى والزوايا
17. تركيب الكيس والرحى وأهمية التوجيه المكا نى للماكولا فى كل منهما
18. كيف يحفز التسارع الخطى خلايا الشعر فى الكيس والرحى أثناء التسارع الخطى؛ وك يف يشعر الجسم بالفرق بين التسارع الرأسى والأفقى
19. تركيب القنوات نصف الدائرية، وخاصة ال كريستا الأمبولارية والكوبولا
20. كيف يحفز التسارع خلايا الشعر فى الكرى ستا الأمبولارية، ولماذا تمكّن المدخلات المجم عة من القنوات نصف الدائرية الستة الدماغ من الإحساس بإمالة أو دوران الرأس فى أى اتجاه
21. لماذا لا يمكن القول إن النطام الدهليزى ى شعر بحركة الرأس، بل فقط بتغيرات معدل ا لحركة
22. المسار الذى تسلكه الإشارات فى العصب ا لدهليزى إلى المخ، والمخيخ، والتشكيل الشب كى، والحبل الشوكى، ونوى الأعصاب القح فية الثلاثة المسؤولة عن حركات العين
23. لماذا من المهم تنسيق حركة العين مع المدخ لات الدهليزية

13. آليات البوابة الشوكية التى تعدل إحساس الشخص بالألم ووعيه بإصابة الجسم
14. أسماء بعض الببتيدات العصبية المسكنة وكيف تؤثر على إدراك الألم

16.3 الحواس الكيميائية

1. هيكل ومواقع براعم التذوق
2. أنواع ومواقع ووظائف الحليمات اللسانية
3. الخمسة أذواق الأساسية، وعوامل أخرى تلع ب دورًا فى النكهة
4. الآليات التى من خلالها تثير السكريات والأملاح والقلويات والأحماض والجلوتامات خلايا التذوق
5. الأعصاب التى تنقل إشارات التذوق، والم سارات التى تسلكها إلى الدماغ، والمراكز الدماغية التى تستقبل المدخلات الذوقية
6. هيكل وموقع الغشاء المخاطى الشمى وخلايا المستقبلات الخاصة به
7. كيف تثير جزيئات الرائحة الخلايا الشمية
8. العصب القحفى الذى ينقل إشارات الشم إ لى الدماغ، ومسار ونقطة انتهاء أليافه العص بية
9. المسارات الحسية من البصيلات الشمية إل ى الفصوص الصدغية، الجزيرة، قشرة الفص ا لجبهى المدارى، الحصين، اللوزة الدماغية، وتح ت المهاد؛ ووظائف الشم لهذه الوجهات ا لإشارية المختلفة
10. كيف يؤثر القشرة الدماغية على وظيفة البصلة ا لشمية وإدراك الشخص للرائحة

16.4 السمع والتوازن

1. كيف يتم توليد الصوت؛ وما هى الخصائص الف يزيائية لموجة الصوت التى تُقاس بالهرتز والدى سيبل؛ وما هى الصفات الحسية للصوت التى تتوافق مع هاتين الخاصيتين الفيزيائيتين
2. النطاق الكلى للسمع البشرى، بالهرتز، والنطا ق الأضيق الذى يسمع فيه الإنسان بشكل أفضل
3. مستوى الديسيبل للمحادثة العادية وعوازل ا لسمع والألم
4. الحدود بين الأذن الخارجية، والأذن الوسطى ، والأذن الداخلية
5. تشريح الأذن الخارجية ووظيفة شمع الأذن وال شعيرات الحارسة فيها
6. تركيب الغشاء الطبلى وتجويف الطبلة؛ أ سماء وهياكل وترتيب العظام السمعية؛ الع ضلتان فى الأذن الوسطى؛ وتشريح قناة ا لسمع، مساهمتها فى السمع، وعلاقتها بعد وى الأذن الوسطى

لاختبار معرفتك، ناقش المواضيع التالية مع شر يك دراستك أو كتابةً، ويفضل أن يكون ذلك من الذ اكرة.

16.1 خصائص وأنواع المستقبلات ا لحسية

1. تعريف *المستقبل* ونطاق التعقيد فى المستقبلات الحسية
2. تعريف *التحويل الحسى* و العلاقة بين جهد الفعل العصبى وهذا المفهوم
3. إنتاج ودور جهد المستقبل فى التحويل الحسى
4. أنواع المعلومات المحفزة الأربعة التى تنقلها الم ستقبلات الحسية
5. خمس فئات من المستقبلات مصنفة حسب نوع المحفز
6. ثلاث فئات من المستقبلات مصنفة حسب مصدر المحفزات
7. الاختلافات بين الحواس العامة (الحسية الج سدية) والحواس الخاصة

16.2 الحواس العامة

1. ثلاثة أنواع من النهايات العصبية الحسية غير ال مغلفة، وما يعنيه القول بأن النهاية العصبية غير مغلفة
2. ستة أنواع من النهايات العصبية المغلفة و كيف تختلف هذه عن النهايات غير المغلفة
3. المسارات الرئيسية لإشارات الحس الجسدى من الرأس، ومن الجزء السفلى من الجسم، إ لى جذع الدماغ؛ الوجهة النهائية لإشارات الإد راك الحسى فى الدماغ؛ والوجهة النهائية لمعظ م الإشارات الحسية الأخرى
4. تعريفات الألم والمستقبلات المؤلمة (nociceptor)
5. الاختلافات بين الألم السريع والألم البطىء
6. الاختلافات بين الألم الناتج عن المنبهات الضارة (nociceptive) وا لألم العصبى (neuropathic)، وأنواع الألم الناتج عن المنبهات ال ضارة الثلاثة
7. الاختلافات بين الألم السريع والألم البطىء، وأ نواع الألياف العصبية المسؤولة عن كل منهما
8. المسار العام المكون من ثلاثة عصبونات الذى تتبعه إشارات الألم عادةً إلى القشرة الدماغية
9. مسارات الألم من المستقبلات فى الرأس إل ى القشرة الدماغية، بما فى ذلك الأعصاب الق حفية التى تنقل إشارات الألم
10. مسارات الألم من الجزء السفلى من الجسم إلى القشرة الدماغية والتشكيل الشبكى، بما فى ذلك م سارات الحبل الشوكى التى تنقل إشارات الألم
11. الألم المحال وأساسه التشريحى
12. أمثلة على تعديل حساسية الألم بواسطة الدماغ

دليل الدراسة

16.5 الرؤية

1. تعريف *الرؤية* ونطاق الأطوال الموجية الكهرومغناطيسية التي تحدث عبرها الرؤية البشرية
2. ست عضلات خارجية للعين، تشريحها، حركات العين التي تنتجها، والأعصاب القحفية ال تي تتحكم بها
3. مكونات الجهاز الدمعي والمسار الذي تسلكه الدموع أثناء غسلها للعين وتصريفها إلى التجويف الأنفي
4. تشريح ووظائف الحاجب، الجفون، الرموش، والملتحمة
5. ثلاث طبقات للكرة العين والمكونات الهيكلية لكل منها
6. المكونات البصرية للعين
7. إفراز، تدفق، وإعادة امتصاص الخُلط المائي
8. التركيب العام للشبكية؛ نقطتا التثبيت على جد ار العين؛ والمواقع، التركيب، والأهمية الوظ فية للقرص البصري، العصب البصري، البقع ة الصفراء)الماكولا لوتيا(، والبؤرة المركزية
9. سبب النقطة العمياء وكيف يعوض الدماغ عنها
10. تركيب وعمل عضلات تضييق وتوسيع الح دقة؛ تشريح التعصيب الذاتي لهما؛ وانعكا س الحدقة الضوئي
11. مبادئ الانكسار؛ النقاط التي يحدث فيها ا لانكسار عند دخول الضوء إلى العين؛ الم ساهمات النسبية للقرنية والعدسة في تكوين ا لصورة، وسبب الفرق
12. الفرق بين الاستجماتيزم)الرؤية الطبيعية(والا ستجابة القريبة، وثلاث آليات للاستجابة القري بة
13. الطبقات النسيجية وأنواع الخلايا في الش بكية؛ ثلاثة أنواع من الخلايا المستقبلية لل ضوء ووظائفها؛ وظائف خلايا الشبكية القط بية، العقدية، الأفقية، والأماكرين
14. تركيبات القضبان والمخاريط؛ مكان احتوا ء الأصباغ البصرية في هذه الخلايا؛ التركيب الع ام لرودوبسين وفوتوبسين؛ وكيف يختلف هذ ان الصبغان
15. الاختلافات في وظيفة القضبان والمخاريط
16. كيف يؤدي امتصاص الضوء إلى توليد إشارة الع صب البصري
17. آليات التكيف مع الضوء والظلام
18. لماذا لا يمكن لنظام مستقبلات الشبكية الواحد أن يحقق كلًا من الرؤية الليلية ذات العتبة المنخ فضة والرؤية النهارية عالية الدقة؛ ولماذا تعم ل رؤية القضبان في الضوء المنخفض جدًا لكنها تضحي بالدقة لتحقيق ذلك؛ ولماذا توفر رؤية المخاريط دقة عالية لكنها تضحي بحساسية ا لضوء
19. الفرق بين المخاريط S وM وL؛ كيف ينتج التر ميز العصبي وأنواع المخاريط الثلاثة حساسية لألوان لا حصر لها؛ وما الذي يسبب عمى الألو ان
20. الأساس الشبكي للرؤية المجسمة
21. مسارات الإسقاط من العينين إلى الفص ا لقذالي وإلى التلال العلوية والنوى قبل السق فية في الدماغ الأوسط
22. التقاطع النصفي، مكان حدوثه، وكيف يحدد ا لمناطق من المجال البصري التي تُرى بواس طة الفصوص القذالية اليمنى واليسرى
23. مراكز الدماغ للتعرف المكاني والموضوعي عالي المستوى

اختبار استرجاعك

الإجابات في الملحق أ

1. يتم اكتشاف المحفزات الحارة والباردة بواسطة
أ. النهايات العصبية الحرة.
ب. مستقبلات الإحساس بالوضع)بروبريسيبتورز(.
ج. بصيلات النهايات.
د. جسيمات لاميلار.
هـ. جسيمات لمسية.

2. ______ هو ناقل عصبي ينقل إشارات الألم إلى الخلايا العصبية الشوكية من الدرجة الثانية.
أ. إندورفين
ب. إنكيفالين
ج. المادة P
د. أسيتيل كولين
هـ. نورإبينفرين

3. ______ هو منظمات عصبية تمنع انتقال إشارا ت الألم بواسطة الخلايا العصبية الشوكية من الدرجة الثانية.
أ. إندورفين
ب. إنكيفالين
ج. المادة P
د. أسيتيل كولين
هـ. نورإبينفرين

4. توجد معظم براعم التذوق في
أ. الحليمات الكأسية
ب. الحليمات الفطرية
ج. الحليمات الخيطية
د. الحنك
هـ. الشفاه

5. كلما زادت تردد الصوت،
أ. يبدو الصوت أعلى.
ب. يصبح من الصعب سماعه.
ج. كلما زاد تحفيزه للنهاية البعيدة من العضو الحلزوني.
د. يسير أسرع عبر الهواء.
هـ. يزداد ارتفاع نغمته.

6. خلايا الشعر في القوقعة تستقر على
أ. الغشاء الطبلي.
ب. الغشاء الطبلي الثانوي.
ج. الغشاء الغطائي.
د. الغشاء الدهليزي.
هـ. الغشاء القاعدي.

7. التسارع الذي تشعر به عندما يبدأ المصعد بالصعود يتم استشعاره بواسطة
أ. القناة الهلالية الأمامية.
ب. العضو الحلزوني.
ج. كريستا أمبولاريس.
د. بقعة الكيس.
هـ. بقعة القناة الدهليزية.

8. لون الضوء يتحدد بواسطة
أ. سرعته.
ب. سعته.
ج. طول موجته.
د. الانكسار.
هـ. مدى قوة تحفيزه للعصب.

9. تتلقى الشبكية إمدادها بالأكسجين من
أ. القناة الزجاجية.
ب. الجسم الزجاجي.
ج. المشيمية.
د. الطهارة الصبغية.
هـ. الجيب الوريدي الصلبي.

10. أي من العبارات التالية عن الرؤية الضوئية غير صحيحة؟
أ. يتم ذلك بواسطة المخاريط.
ب. لديه عتبة منخفضة.
ج. ينتج دقة عالية.
د. لا يعمل في ضوء النجوم.
هـ. لا يستخدم الرودوبسين.

11. تحدث الرؤية الأكثر تفصيلاً عندما تسقط صورة على حفرة في الشبكية تُسمى ______.

12. الخلايا الوحيدة في الشبكية التي تولد جهود فعل هي ______ الخلايا.

دراسة دليل

19. تتشابك الخلايا العصبية الشمية مع خلايا الميترال، التي تقع ______وخلايا التافتيد في أسفل الفص الجبهي.

20. يُدرك الألم القادم من______ في ظاهرة الأحشاء على أنه قادم من منطقة من الجلد.

16. هي عظمة صغيرة تهتز في ال______ النافذة البيضاوية وبالتالي تنقل اهتزازات الصوت إلى الأذن الداخلية.

17. من الدماغ المتوسط يستقبل المدخلات السمعية ال______ ويحفز رد فعل دوران الرأس السمعي.

18. في براعم التذوق هو______وظيفة استبدال خلايا التذوق الميتة.

13. الصبغة البصرية لخلية المخروط هي ______.

14. الأغشية الهلامية لماكولا ساكولي وماكولا أو تريكولي مثقلة بحبيبات من البروتين-كربونات الكالسيوم تسمى ______.

15. في القوقعة لها______ثلاثة صفوف من صفوف على شكل حرف V من الستيروسيليا وتضبط حساسية التردد في القوقعة.

بناء مفرداتك الطبية

الإجابات في الملحق أ

اذكر معنى كل عنصر من عناصر الكلمة، و اذكر مصطلحًا طبيًا من هذا الفصل يستخدمه أو يستخدم نسخة معدلة منه قليلاً.

1. بن-
2. ديكسوس-
3. نصف-
4. لاكريمو-
5. ليثو-
6. ماكولو-
7. نوكي-
8. سكوتو-
9. -سيبسيس
10. tricho-

ما الخطأ في هذه العبارات؟

الإجابات في الملحق أ

اشرح بإيجاز لماذا كل من العبارات التالية خاطئة، أو أعد صياغتها لتصبح صحيحة.

1. الألياف العصبية الحسية (الواردة) للمس تنتهي في المهاد.
2. الأشياء التي نلمسها باليد اليسرى تُدرك في نصف الكرة المخية الأيسر.
3. الأشياء التي نراها بالعين اليسرى تُدرك فقط في نصف الكرة المخية الأيمن.
4. يمكن تصنيف جميع المستقبلات الكيميائية على أنها مستقبلات خارجية.
5. الجسم الزجاجي يشغل الحجرة الخلفية للعين.
6. الألياف النازلة المسكنة تمنع إشارات الألم من الوصول إلى الحبل الشوكي.
7. الإشارات السمعية تُنقل عبر العصب القحفي الثامن، وإشارات التوازن عبر العصب القحفي التاسع.
8. تجويف الطبلة والمتاهة الغشائية مملوءان بالسائل الداخلي (الإندوليمف).
9. العصي والمخاريط تفرز الناقل العصبي الخاص بها عند تحفيزها بالضوء، ولكن ليس في الظلام التام.
10. جميع عضلات العين الخارجية تُسيطر عليها العصب المحرك للعين.

اختبار فهمك

1. يتم شرح مبدأ التقارب العصبي تحت عنوان "المجمعات والدوائر العصبية" في القسم 12.6د. ناقش أهميته بالنسبة لألم المحال والرؤية الظلامية.
2. ما نوع المستقبلات الجلدية التي تمكنك من الشعور بحشرة تزحف عبر شعرك؟ وما النوع الذي يمكنك من جس نبض المريض؟ وما النوع الذي يمكن الشخص الأعمى من قراءة برايل؟
3. عادةً ما يؤدي انقباض العضلة إلى زيادة التوتر على البنية، لكن انقباض العضلة الهدبية يقلل التوتر على العدسة. اشرح كيف.
4. في الشكل 16.45، افترض أن جلطة دماغية أو صدمة دمرت فقط الألياف الحمراء في المنطقة المحددة بالدائرة والموسومة بـ "الإشعاع البصري". توقع كيف سيؤثر ذلك على المجال البصري لكل عين. توقع نفس الشيء بالنسبة لإصابة تقطع تمامًا عبر المنطقة المحددة بالدائرة الموسومة بـ "المسار البصري".
5. ما الفائدة من دواء يحجب مستقبلات المادة P؟

الفصل 17

الجهاز
الغدد الصماء



صب عمر الأوعية الدموية لغدة الدرقية)المجهر الإلكترونى الماسح(
سوسومو نيشيناغا / مصدر العلوم

مخطط الفصل

رؤى أعمق



الوحدة 8: الجهاز الصماء

مراجعة

- الوطاء هو مركز تحكم مهم لعمل الهرمونات، لذا من المهم معرفة تشر يحه ووظائفه)انظر القسم 14.4أ(.
- العديد من الهرمونات هى بروتينات وببتيدات أخرى. عند مناقشة تخل يق هذه الفئة من الهرمونات، سيتم افتراض أنك على دراية ببنية البرو تين)انظر القسم 2.4هـ(والتخليق)انظر القسم 4.2ح(.
- العديد من الهرمونات تمارس تأثيراتها عن طريق الارتباط ببروتينات أغشية البلازما فى خلاياها المستهدفة. من المهم أن تكون على دراية ببروتينات الغشاء كمستقبلات وببروتينات G، وcAMP، والرسل ا لثانيين)انظر الشكل 3.8 والنص المرتبط(.
- مراجعة الحد الأقصى للنقل)T_m(لبروتينات الغشاء)انظر القسم 3.3هـ، وكذلك الأشكال 3.8 و23.18(ستعزز فهمك لمرض السكرى فى هذا الفصل.

إذا كان الجسم سيعمل كوحدة متكاملة، يجب على أعضائه التواصل مع بعضها البعض وتنسيق أنشطتها. حتى الكائنات البسيطة المكونة من عد د قليل من الخلايا تمتلك آليات للتواصل بين الخلايا، مما يشير إلى أن هذه الآليات تطورت فى وقت مبكر جدًا فى تاريخ الحياة. فى البشر، هناك نظام ان بارزان بشكل خاص—الجهاز العصبى والجهاز الداخلى الإفراز، اللذان يتوا صلان بواسطة الناقلات العصبية والهرمونات على التوالى.

سمع معظم الناس على الأقل عن بعض الهرمونات—هرمون النمو، هر مون الغدة الدرقية، الإستروجين، والأنسولين، على سبيل المثال. كما أن بع ض الغدد التى تفرزها)مثل الغدة النخامية والغدة الدرقية(وبعض الاضطرا بات الناتجة عن نقص الهرمونات أو زيادتها أو خللها)مثل السكرى، تضخم ا لغدة الدرقية، والقزامة(معروفة إلى حد ما.

هذا الفصل يتناول بشكل أساسى نظام الغدد الصماء)الهرمونى(لن ظام الاتصال. سنبدأ بالجوانب الكبيرة والمألوفة نسبيًا لهذا النظام—استعر اض الغدد الصماء، هرموناتها، والتأثيرات الرئيسية لتلك الهرمونات. ثم س نتدرج إلى التفاصيل الأدق والأقل شهرة—الهوية الكيميائية للهرمونات، كي فية تصنيعها ونقلها، وكيف تُحدث تأثيراتها على الخلايا المستهدفة. تتناول الأقسام الأقصر فى نهاية الفصل دور نظام الغدد الصماء فى التكيف مع الإ جهاد، وبعض الإفرازات الشبيهة بالهرمونات الباراكراين ، والأمراض الناتجة عن خلل فى وظيفة الغدد الصماء.

17.1 نظرة عامة على نظام الغدد الصماء

النتائج التعليمية المتوقعة

عندما تكمل هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. تعريف الهرمون و نظام الغدد الصماء ;

ب. تسمية عدة أعضاء من نظام الغدد الصماء;

ح. مقارنة الغدد الصماء بالغدد الخارجية الإفراز;

د. التعرف على الاختصارات القياسية للعديد من الهرمونات؛ و

هـ. وصف أوجه التشابه والاختلاف بين الجهاز العصبى والجهاز الصمائى.

لجسم أربعة طرق رئيسية للتواصل من خلية إلى خلية:

1. وصلات الفجوة تربط العضلات الملساء الوحدوية، والعضلات القلبية، والخلايا الطلائية، وخلايا أخرى ببعضها البعض. تتيح هذه الوصلات للخلايا تمرير المغذيات، والإلكتروليتات، وجزيئات الإشارة مباشرة من سيتوبلازم خلية إلى سيتوبلازم الخلية المجاورة عبر مسام فى أغشيتها البلازمية)انظر الشكل 5.28(.
2. الناقلات العصبية تُفرز بواسطة الخلايا العصبية، وتنتشر عبر شق تشابكى ضيق، وترتبط بمستقبلات على سطح الخلية التالية.
3. الباراكرينات[1] تُفرز من خلية واحدة، وتنتشر إلى الخلايا المجاورة فى نفس النسيج، وتحفز وظائفها الفسيولوجية. بعض الخبراء يسمونها *الهرمونات المحلية*.
4. الهرمونات،[2] بالمعنى الدقيق، هى رسل كيميائية ينقلها مجر ى الدم وتحفز استجابات فسيولوجية فى خلايا نسيج أو عضو آخ ر، غالبًا بعيد. بعض الهرمونات التى تنتجها الغدة النخامية فى الرأس، على سبيل المثال، تؤثر على أعضاء تبعد حتى التجويف الحوضى.

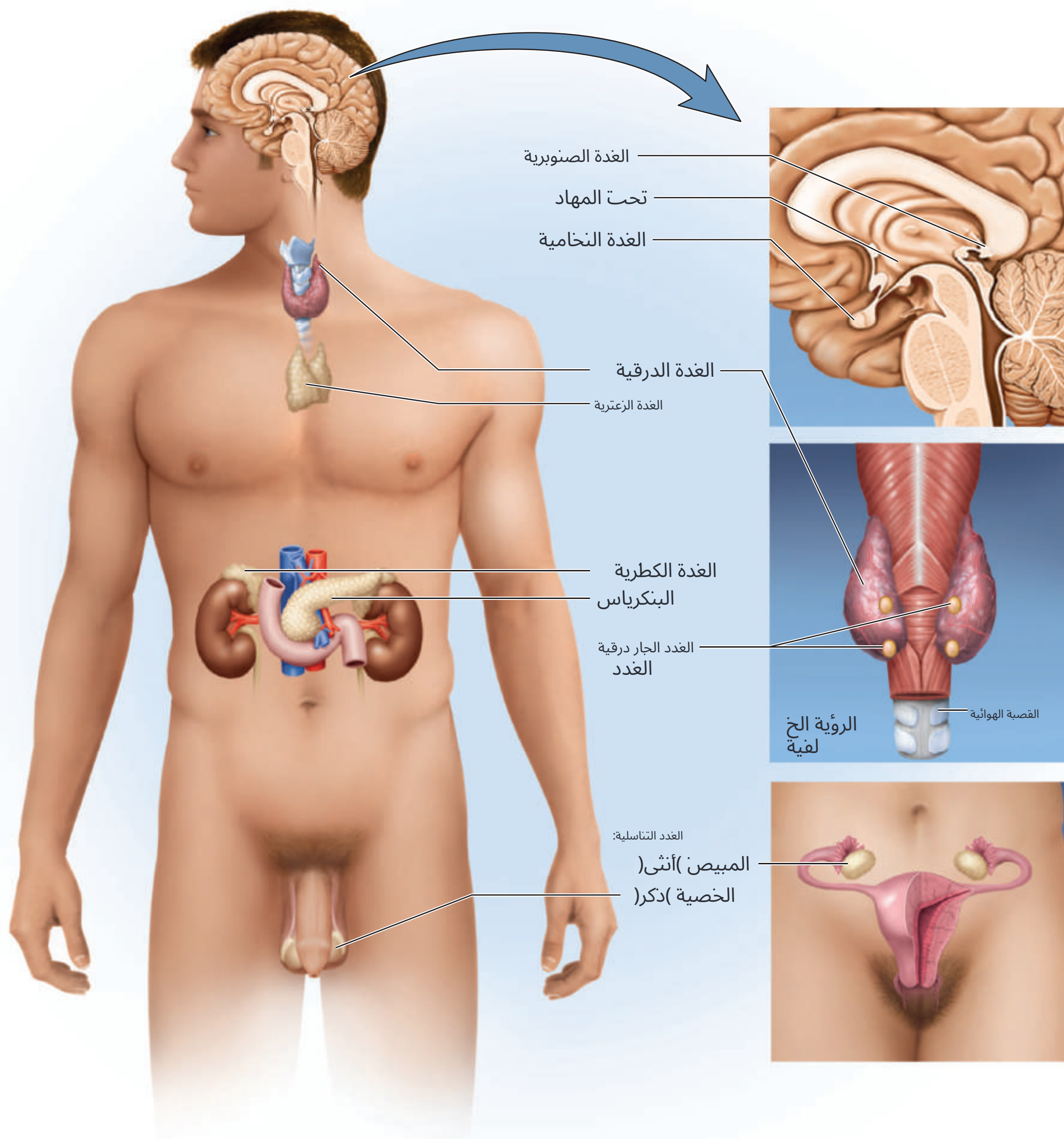
يركز هذا الفصل بشكل رئيسى على الهرمونات، وإلى حد ما على إفرازات الباراكرين. الغدد، والأنسجة، والخلايا التى تفرز الهرمونات تشكل الجهاز الصمائى[3]؛ دراسة هذا الجهاز وتشخيص وعلاج اضطراباته تسمى علم الغدد الصماء. أكثر مصادر الهرمونات شهرة هى الأعضاء المعترف بها تقليديًا كالغدد الصمائية، مثل الغدة النخامية، الغدة الدرقية، والغدد الكظرية، من بين أخرى)الشكل 17.1(. ومع ذلك، كشفت المعرفة المتزايدة فى علم الغدد الصماء أن كل نظام عضوى يفرز هرمونات، بما فى ذلك الأعضاء والأنسجة التى لا يُنظر إليها عادة كغدد، مثل الدماغ، القلب، الأمعاء الدقيقة، العظام، العضلات، والأنسجة الدهنية.

17.1a مقارنة بين الغدد الصماء والغدد الخارجية الإفراز

فى الفصل الخامس، درسنا فئة أخرى من الغدد، وهى الغدد *الخارجية الإفراز*. التمييز الكلاسيكى بين الغدد الخارجية والغدد الداخلية الإفراز كان وجود أو عدم وجود قنوات. معظم الغدد الخارجية الإفراز تفرز منتجاتها عبر قناة إلى سطح طهارى مثل الجلد أو مخاط الجهاز الهضمى. أما الغدد الداخلية الإفراز، فهى على العكس من ذلك، لا تحتوى على قنوات وتفرز إفرازاتها فى مجرى الدم)انظر الشكل 5.30(. لهذا السب ب، كانت الهرمونات تُسمى فى الأصل "الإفرازات الداخلية" للجسم؛ ولا يزال مصطلح الغدد الداخلية الإفراز يشير إلى هذه الحقيقة. الإفرازا ت الخارجية لها تأثيرات خارج الخلية مثل هضم الطعام، فى حين أن ا لإفرازات الداخلية لها تأثيرات داخل الخلية—تغير أيض الخلية.

---

[1] *para* = بجانب؛ *crin* = يفرز
[2] *hormone* = يثير، يحرك
[3] *endo* = داخل؛ *crin* = يفرز



الشكل 17.1 النظرة التقليدية للجهاز الصماء. كل جهاز عضوى والعديد من الأعضاء والأنسجة غير المعروضة هنا معروفة الآن بإفرازها للهرمونات.
APR

بعد قراءة هذا الفصل، اذكر على الأقل ثلاثة أعضاء تفرز هرمونات غير معروضة فى هذا الرسم التوضيحى.

من خلال نظام من القنوات المؤدية إلى الأمعاء الدقيقة، لكنها تفرز أي
صًا هرمونات مباشرة إلى الدم. وبسبب ذلك، يجب اعتبارها أيضًا غدة
صماء. ومع ذلك، فإن منتجات الكبد الأخرى—الألبومين وعوامل تج
لط الدم—تتحدى التصنيف كغدد صماء لأنها ليست هرمونات، وتتح
دى المفهوم المعتاد للغدد خارجية الإفراز لأنها لا تُفرز عبر قنوات أو ع
لى سطح جسم أو عضو. هناك عدة غدد أخرى، مثل البنكرياس والكلى
، لها وظائف خارجية الإفراز وداخلية الإفراز معًا.

كما نرى فى صورة افتتاح هذا الفصل، تحتوى الغدد الصماء على
كثافة عالية من الشعيرات الدموية؛ وهذه الشعيرات تعمل على التقا
ط ونقل هرموناتها. غالبًا ما تكون هذه الأوعية من نوع خاص قابل للن
فاذ يُسمى *الشعيرات المثقبة*، والتى تحتوى على بقع من المسام الك
بيرة فى جدرانها مما يسمح بالامتصاص السهل للمواد من نسيج الغد
ة)انظر الشكل 20.5ب(.

التمييز بين الغدد الخارجية الإفراز والغدد الصماء ليس دائمًا وا
ضحًا. الكبد هو غدة خارجية الإفراز تفرز أحد منتجاتها، الصفراء،

المكونات. هذه الأمثلة هى فقط بعض من الطرق العديدة التى تستخ
دمها الطبيعة لإرباك دافعنا لتصنيف الأشياء بشكل صارم ضمن فئا
ت ثابتة من خيال الإنسان.

17.1ب مقارنة بين الجهاز العصبى والج هاز الصماء

يخدم كل من الجهاز العصبى والجهاز الصماء للتواصل الداخلى، لكنهم
ا ليسا مكررين؛ بل يكمل كل منهما وظيفة الآخر بدلاً من تكرارها)الج
دول 17.1(. أحد الاختلافات المهمة هو أن العصبون الصادر يعصب ع
ضوًا واحدًا فقط وعددًا محدودًا من الخلايا داخل ذلك العضو، لذا فإن
تأثيراته عادة ما تكون مستهدفة بدقة ونسبياً محددة)الشكل 17.2أ(.
بالمقابل، تُفرز الهرمونات فى مجرى الدم وتنتشر فى جميع أنحاء الج
سم)الشكل 17.2ب(. بعض هذه الهرمونات، مثل هرمون النمو والأد
رينالين، لها تأثيرات أوسع انتشارًا من أى عصبون منفرد.

فرق آخر هو السرعة التى يبدأ بها النظامان فى الاستجابة للمحفز
ويتوقفان عن الاستجابة له. يستجيب الجهاز العصبى عادة خلال بضع
ة ميلى ثانية، بينما يستغرق الهرمون من عدة ثوانٍ إلى أيام ليبدأ فى ا
لعمل. عندما يتوقف المحفز، يتوقف الجهاز العصبى عن الاستجابة
فورًا تقريبًا، فى حين يمكن أن تستمر تأثيرات الهرمونات لأيام أو حتى
لفترات أطول. من ناحية أخرى، تحت التحفيز طويل الأمد، تتكيف مع
طم العصبونات بسرعة وينخفض استجابتها. الجهاز الصماء قادر على
تقديم استجابات تدوم لفترات أطول.

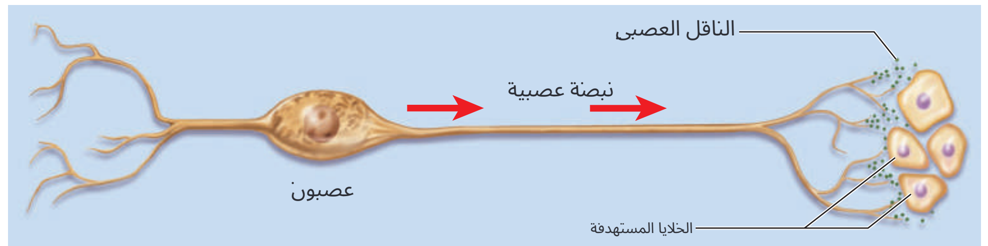
لكن هذه الاختلافات لا ينبغى أن تغطى على أوجه التشابه بين ال
نظامين. كلاهما يتواصل كيميائيًا، وتعمل عدة مواد كيميائية كناقلات
عصبية وهرمونات فى آن واحد — على سبيل المثال، النورإبينفرين، ا
لدوبامين، وهرمون مضاد لإدرار البول)الأرجينين فازوبريسين(. لذلك،
يمكن اعتبار مادة كيميائية معينة مثل الدوبامين هرمونًا عندما تفرزه
خلية صماء، وناقلًا عصبيًا عندما تفرزه خلية عصبية. تشابه آخر هو أن
بعض الهرمونات والناقلات العصبية تنتج تأثيرات متطابقة على نفس
العضو.

الجدول 17.1 مقارنة بين الجهاز العصبى و الجهاز الغدى

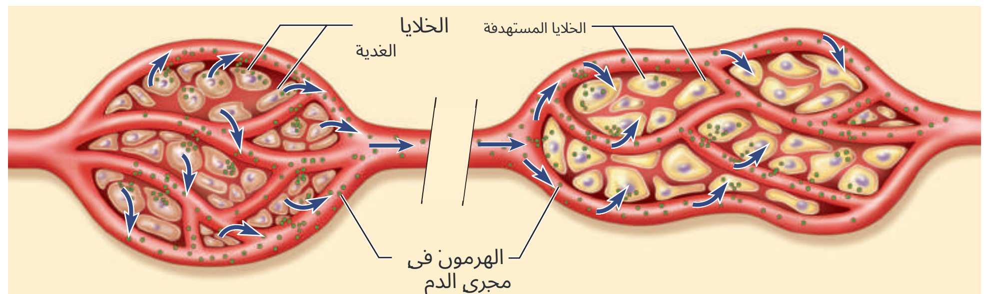
الجهاز الغدى	الجهاز العصبى
يتواصل عن طريق الهرمونات	يتواصل عن طريق النبضات الكهربائية و الناقلات العصبية
يُفرز الهرمونات فى مجرى الدم للتوز يع العام فى جميع أنحاء الجسم	يُفرز الناقلات العصبية عند الم شابك فى خلايا الهدف المحددة
أحيانًا يكون له تأثيرات عامة ووا سعة الانتشار جدًا	عادةً ما يكون له تأثيرات محلية ومحددة نسبيًا
يستجيب ببطء أكثر للمحفزات، غ البًا ما يستغرق من ثوانٍ إلى أيام	يستجيب بسرعة للمحفزات، عادةً خلال 1–10 مللى ثانية
قد يستمر فى الاستجابة لفترة طو يلة بعد توقف المحفز	يتوقف بسرعة عند توقف المح فز
يتكيف ببطء نسبيًا؛ قد يستجيب لأيام إلى أسابيع	يتكيف بسرعة نسبياً مع التح فيز المستمر

على سبيل المثال، يحفز كل من النورإبينفرين والجلوكاجون الكبد على
تفكيك الجليكوجين وإطلاق الجلوكوز. ينظم الجهازان العصبى والصما
ء بعضهما البعض باستمرار أثناء تنسيقهما لأنشطة أنظمة الأعضاء الأ
خرى. بعض العصبونات تحفز إفراز الهرمونات، وبعض الهرمونات تح
فز أو تثبط العصبونات.

بعض الخلايا تتحدى أى محاولة لتصنيفها بشكل صارم كعصبونا
ت أو خلايا غدية. فهى تتصرف مثل العصبونات فى نواحٍ كثيرة، لكنها
مثل الخلايا الصماء، تفرز إفرازاتها)مثل الأوكسيتوسين(فى مجرى الد
م. لذلك، نطلق عليها اسمًا هجينًا —الخلايا العصبية الصماء.



)أ(الجهاز العصبى



)ب(الجهاز الغدى

الشكل 17.2 التواصل بواسطة الجهاز العص
بى والجهاز الصماء.)أ(للعصبون ليف طويل
ينقل ناقله العصبى إلى محيط خلاياه المس
تهدفة مباشرة.)ب(تفرز الخلايا الصماء هرمونًا
فى مجرى الدم)يسار(. فى نقطة غالبًا ما
تكون بعيدة عن مصدره، يخرج الهرمون من م
جرى الدم ويدخل أو يرتبط بخلاياه المستهدفة)يم
ين(.

لذلك، هذا هو المكان المناسب لبدء استعراض النظام الغدد الصماء.

17.2a التشريح

يشكل الوطاء، الذي يشبه القمع المسطح، قاع وجدران البطين الثالث في الدماغ)انظر الأشكال 14.2 و14.12ب(. ينظم الوظائف البدائية للجسم التي تتراوح من توازن الماء وتنظيم الحرارة إلى الدافع الجنسي والولادة. يتم تنفيذ العديد من وظائفه عبر الغدة النخامية، التي ترتبط به ارتباطًا وثيقًا من الناحيتين التشريحية والفسيولوجية.

الغدة النخامية)الغدة تحت المهاد[4](معلقة من قاع الوطاء بواسطة سويقة)القناة النخامية[5](وموجودة في تجويف عظم الوتد، السرج التركي. عادةً ما يبلغ قياس الغدة النخامية البالغة حوالي 12 مم من اليسار إلى اليمين و8 مم من الأمام إلى الخلف—بحجم وشكل حبة الفاصوليا؛ وتنمو بنسبة حوالي 50% أكبر أثناء الحمل. تتكون فعليًا من هيكلين—الغدة النخامية الأمامية والغدة النخامية الخلفية—لهما أصول مستقلة ووظائف منفصلة. تنشأ الغدة النخامية الأمامية من جيب ينمو صعودًا من البلعوم الجنيني، بينما تنشأ الغدة النخامية الخلفية كبراعم تنمو نزولًا من الدماغ)الشكل 17.3(. تقعان جنبًا إلى جنب ومرتبطة ارتباطًا وثيقًا لدرجة أنهما تبدوان كغدة واحدة.

الغدة النخامية الأمامية، التي تُسمى أيضًا الغدة النخامية الغدية6 (AD-eh-no-hy-POFF-ih-sis)، تشكل حوالي ثلاثة أرباع الغدة النخامية ككل؛ الجزء الرئيسي منها هو الفص الأمامي الكبير البارز)الأشكال 17.4أ، 17.5أ(. لا ترتبط عصبيًا بالوطاء لكنها مرتبطة به بواسطة شبكة معقدة من الأوعية الدموية تسمى النظام البابي النخامي (hy-POFF-ih-SEE-ul)الشكل 17.4ب(. يتكون هذا النظام من شبكة من الشعيرات الدموية الأولية في الوطاء، ومجموعة من الأوردة الصغيرة تسمى الأوردة البابية التي تنزل عبر السويقة، وشبكة من الشعيرات الدموية الثانوية في الغدة النخامية الأمامية. يتحكم الوطاء في الغدة النخامية الأمامية عن طريق إفراز هرمونات تدخل الشعيرات الدموية الأولية، وتسافر عبر الأوردة، وتنتشر من الشعيرات الدموية الثانوية إلى نسيج الغدة النخامية. تنظم هرمونات الوطاء إفرازات أنواع مختلفة من خلايا الغدة النخامية التي سندرسها قريبًا.

الغدة النخامية الخلفية، التي تُسمى أيضًا الغدة النخامية العصبية، تشكل الربع الخلفي من الغدة النخامية. السويقة التي تربط الغدة النخامية بالوطاء هي جزء من الغدة النخامية الخلفية؛ والجزء البارز من الغدة أسفل السويقة يسمى الفص الخلفي. الغدة النخامية الخلفية هي في الواقع نسيج عصبي)ألياف عصبية وخلايا دبقية عصبية، الشكل 17.5ب(، وليست غدة حقيقية. تُصنع هرمونات الغدة النخامية الخلفية بواسطة خلايا عصبية صماء معينة في الوطاء. تمر محاورها العصبية عبر السويقة كحزمة تسمى المسار الوطائي-النخامي وتنتهي في الفص الخلفي)الشكل 17.3أ(.

تُصنع الهرمونات في أجسام الخلايا وتتحرك عبر المحاور العصبية بواسطة التدفق المحوري إلى الفص الخلفي. هنا يتم تخزينها

[4] هيبو = تحت؛ فيزيس = نمو
[5] إنفنديبولوم = قمع
[6] أدينو = غدة

لقد رأينا أن الناقلات العصبية تعتمد على المستقبلات في الخلية المستقبلة؛ لا يمكنها أن تؤثر إلا إذا كانت الخلية المستقبلة مجهزة للارتباط بها والاستجابة لها. هذا ينطبق أيضًا على الهرمونات. عندما يدخل الهرمون مجرى الدم، يذهب إلى حيث يذهب الدم؛ لا توجد طريقة لإرساله بشكل انتقائي إلى عضو معين. ومع ذلك، تستجيب فقط بعض الأعضاء المستهدفة أو الخلايا المستهدفة له. على سبيل المثال، يحفز هرمون تحفيز الغدة الدرقية الغدة الدرقية فقط. في معظم الحالات، تحدث هذه الاستجابات الانتقائية لأن الخلايا المستهدفة فقط تحتوي على مستقبلات لهرمون معين. ومع ذلك، يمكن أن تحدث أيضًا لأن الهرمون المتداول غير نشط والخلايا المستهدفة فقط تحتوي على الإنزيم اللازم لتحويله إلى الشكل النشط. على سبيل المثال، التستوستيرون المتداول غير نشط نسبيًا، لكن خلاياه المستهدفة تحتوي على إنزيم يحوله إلى ديهدروتستوستيرون، وهو أكثر فعالية بكثير.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

1. عرّف كلمة الهرمون وميّز بين الهرمون و الناقل العصبي. لماذا هذا التمييز غير كامل؟
2. اذكر بعض مصادر الهرمونات غير الغدد الصماء فقط.
3. صف بعض الفروقات بين الغدد الصماء و الغدد الخارجية الإفراز.
4. عدد بعض أوجه التشابه والاختلاف بين الجهاز الصماء والجهاز العصبي.
5. ناقش لماذا مفهوم الخلية المستهدفة ضروري لفهم وظيفة الهرمون.

17.2 الوطاء وغدة النخامية

النتائج التعليمية المتوقعة

عندما تكمل هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. صف العلاقة التشريحية بين الوطاء وغدة النخامية؛

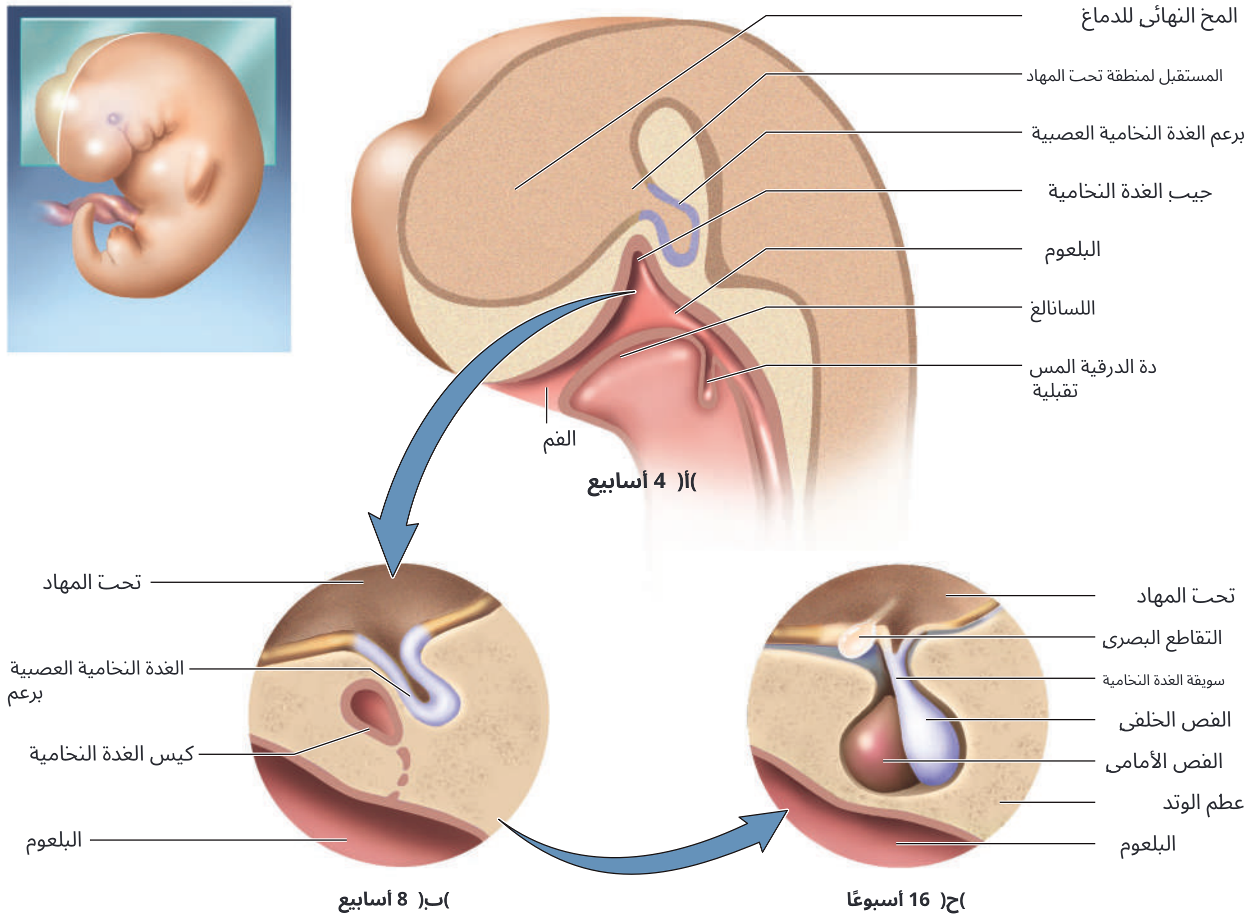
ب. ميّز بين الفص الأمامي والفص الخلفي لغدة النخامية؛

ج. عدد الهرمونات التي ينتجها الوطاء وكل فص من فصوص غدة النخامية، وحدد وظائف كل هرمون؛

د. اشرح كيف يتم التحكم في الغدة النخامية بواسطة الوطاء)الهيبوثالاموس(وأعضائها المستهدفة؛ و

هـ. وصف تأثيرات هرمون النمو.

لا يوجد مركز تحكم رئيسي ينظم كامل الجهاز الصماء، لكن الغدة النخامية والوطاء لهما تأثير أوسع من أي جزء آخر في النظام، ولا يمكن فهم عدة غدد صماء أخرى بشكل كافٍ دون معرفة كيف تؤثر الغدة النخامية عليها أولاً.



الشكل 17.3 التطور الجنينى للغدة النخامية.)أ(مقطع سهمى للرأس يظهر الأصول العصبية والبلعومية للغدة النخامية.)ب(تطور الغدة النخامية عند 8 أسابيع. كيس الغدة النخامية، المقدر أن يصبح الغدة النخامية الأمامية، قد انفصل الآن عن البلعوم.)ح(التطور عند 16 أسبوعًا. الفصان الآن محاطان بالعظم ومرتبطان ا رتباطًا وثيقًا لدرجة أنهما يبدوان كغدة واحدة.

الجانب الأيسر للنوى المجاورة للبطين[7] فى منطقة تحت المهاد، وتسمى كذ لك لأنها تقع فى جدران البطين الثالث. يأتى الهرمون المضاد لإدرار البول ب شكل رئيسى من النوى فوق البصرية[8]، المسماة لموقعها فوق التصالب ا لبصرى مباشرة. كل نواة تنتج أيضًا كميات صغيرة من الهرمون الآخر. يُعامل الهرمون المضاد لإدرار البول والأوكسيتوسين كهرمونات الغدة النخامية الخل فية للتسهيل على الرغم من أن الفص الخلفى لا يقوم بتصنيعها.

17.2c هرمونات الغدة النخامية الأمامية

الهرمونات الستة الرئيسية للغدة النخامية الأمامية هى كما يلى)الجدول 17.3(. يُطلق على الأولين معًا اسم الهرمونات المنشطة للمبى ض والخصية[9] لأنهما يستهدفان المبايض والخصيتين)الغدد التناسلية(. أسماءهما الفردية)FSH وLH(تشير إلى وظائفهما الأنثوية، على الرغم من أنهما مهمان بنفس القدر لدى الذكور.

1. هرمون تحفيز الجريبات)FSH(. يُفرز FSH بواسطة *الخلايا المنشطة للغدد التناسلية*. فى المبايض، يحفز إفراز

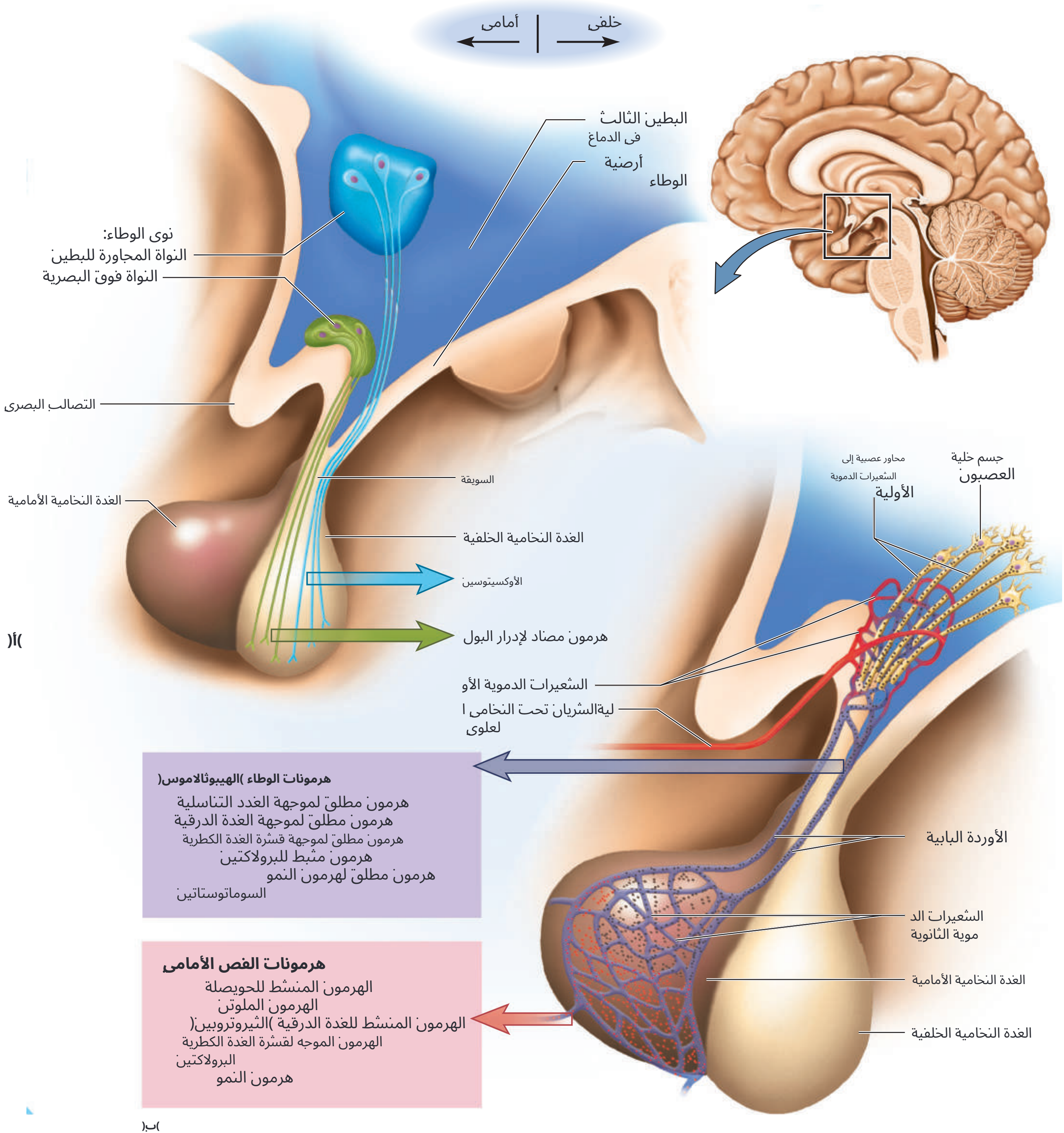
فى النهايات العصبية حتى يؤدى إشارة عصبية نازلة عبر نفس المحاور العصبية إلى تحفيز إفرازها.

17.2b هرمونات الوطاء

لفهم فسيولوجيا نظام الوطاء-الغدة النخامية، يجب أن نبدأ بالهرمونا ت التى يُنتجها الوطاء. هناك ثمانية منها)الشكل 17.4(— ستة لتنظ يم الغدة النخامية الأمامية واثنان يتم تخزينهما فى الغدة النخامية الخ لفية وإفرازهما عند الطلب. من بين الستة الأولى، تُسمى تلك التى تح فز الغدة النخامية على إفراز هرموناتها الخاصة بـ "هرمونات الإطلاق"؛ وتُسمى تلك التى تثبط إفراز الغدة النخامية بـ "هرمونات التثبيط")الج دول 17.2(. التأثير المحفز أو المثبط واضح فى أسمائها. يُطلق على ال سوماتوستاتين أيضًا اسم هرمون تثبيط هرمون النمو، رغم أنه يثبط أ يضًا إفراز هرمون تحفيز الغدة الدرقية. اسمه مشتق من "سوماتوترو بين"، وهو مرادف لهرمون النمو، و"ستات" التى تعنى إيقاف شىء ما)فى هذه الحالة، إفراز هرمون النمو(.

الهرمونان الآخران فى منطقة تحت المهاد هما *الأوكسيتوسين)OT(والهرمون المضاد لإدرار البول)ADH(*. يتم تخزينهما وإفرازهما بواسطة الغدة النخامية الخلفية . يأتى الأوكسيتوسين بشكل رئيسى من الخلايا العصبية فى النوى الجانب الأيمن و

[7] *para* = بجانب؛ *ventricular* = متعلق بالبطين
[8] *supra* = فوق
[9] *gonado* = الغدد التناسلية؛ *trop* = للتحول أو التغيير



الشكل 17.4 تشريح الغدة النخامية.)أ(الهياكل الرئيسية للغدة النخامية وهرمونات النخامية العصبية. لاحظ أن هذه الهرمونات تُنتج بواسطة نواتين فى الوطاء)الهيبوثالاموس(وتُفرز لاحقًا من الفص الخلفى للغدة النخامية.)ب(نظام البوابة النخامية، الذى ينظم الفص الأمامى للغدة النخامية. الهرمونات فى الصندوق العلوى)البنفسجى(تُفرز من الوطاء وتنتقل عبر نظام البوابة إلى الغدة النخامية الأمامية. الهرمونات فى الصندوق السفلى)الوردى(تُفرز من الغدة النخامية الأمامية تحت سيطرة المحفزات والمثبطات الوطائية.

APR

أى فص من الغدة النخامية يتكون أساسًا من نسيج دماغى؟

الجسم الأصفر. كما يحفز LH الجسم الأصفر على إفراز هرمو
ن البروجسترون، وهو هرمون مهم في الحمل.
في الذكور، يحفز LH الخصيتين على إفراز التستوستيرون.

3. **هرمون تحفيز الغدة الدرقية)TSH(، أو الثيروتروبين.**
يُفرز TSH بواسطة خلايا الغدة النخامية المسماة خلايا الثيروترو
بيك. يحفز نمو الغدة الدرقية وإفراز هرمون الغدة الدرقية، الذي
له تأثيرات واسعة على معدل الأيض، ودرجة حرارة الجسم، ووظا
ئف أخرى سيتم تفصيلها لاحقًا.

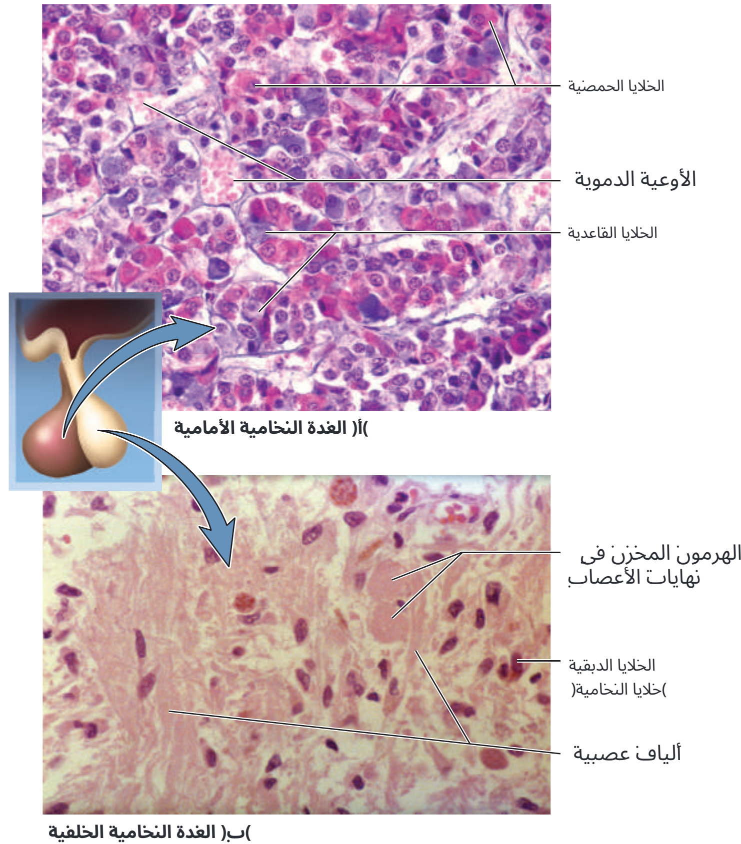
4. **هرمون قشر الكظر)ACTH(، أو الكورتيكوتروبين.**
يُفرز ACTH بواسطة خلايا تسمى خلايا الكورتيكوتروبيك. ا
لعضو المستهدف وسبب تسميته هو قشرة الغدة الكظرية.
يحفز ACTH القشرة على إفراز هرمونات تسمى الجلوكوكورتيكو
يدات)وخاصة الكورتيزول(، التي تنظم أيض الجلوكوز والبرو
تين والدهون، وهي مهمة في استجابة الجسم للإجهاد.

5. البرولاكتين)PRL(. يُفرز PRL بواسطة خلايا الغدة النخامية الم
سماة خلايا البرولاكتين. سُمي الهرمون وهذه الخلايا بدورها في
الرضاعة. خلال الحمل، تزداد خلايا البرولاكتين بشكل كبير في ا
لحجم والعدد، ويرتفع إفراز PRL بشكل متناسب، لكنه لا يؤثر ع
لى الغدد الثديية حتى بعد ولادة المرأة. ثم يحفزها على تصنيع
الحليب.

6. هرمون النمو)GH(، أو السوماتوتروبين. يُفرز هرمون النمو بوا
سطة خلايا السوماتوتروبية، وهي أكثر الخلايا عددًا في الغدة الن
خامية الأمامية. تنتج الغدة النخامية كمية من هرمون النمو
تفوق بمقدار ألف مرة أي هرمون آخر. التأثير العام لهرمون النمو
هو تحفيز الانقسام الخلوي والتمايز الخلوي، وبالتالي تعزيز نمو ا
لأنسجة في جميع أنحاء الجسم.

يمكنك أن ترى أن الغدة النخامية الأمامية تشارك في سلسلة من
الأحداث المرتبطة بالهرمونات: يفرز الوطاء هرمون إطلاق؛ هذا يحفز
نوعًا من خلايا النخامية على إفراز هرمونه؛ وعادةً ما يكون هذا الهرمون
موجهًا إلى غدة صماء أخرى في مكان آخر من الجسم؛ وأخيرًا، تفرز تل
ك الغدة هرمونًا له تأثيره الخاص. على سبيل المثال، يفرز الوطاء هرم
ون إطلاق الثيروتروبين)TRH(؛ وهذا يحفز الغدة النخامية الأمامية عل
ى إفراز هرمون تحفيز الغدة الدرقية)TSH(؛ بدوره، يحفز TSH الغدة ا
لدرقية على إفراز هرمون الغدة الدرقية)TH(؛ وأخيرًا، يمارس هرمون ا
لغدة الدرقية تأثيراته الأيضية في جميع أنحاء الجسم. مثل هذه العلاقة
بين الوطاء، النخامية،

[10] الجسم = الجسم؛ *الصفرة* = الأصفر
[11] مؤيد = مؤيد، معزز؛ *الحليب* = الحليب



الشكل 17.5 علم الأنسجة لغدة النخامية.)أ(الفص الأمامي. تشمل الخلايا ا
لقاعدية الخلايا المنشطة للمبيض، والخلايا المنشطة للغدة الدرقية، والخلايا ا
لكورتيكوتروبية. تشمل الخلايا الحمضية الخلايا المنشطة للنمو وخلايا ال
برولاكتين. هذه الأنواع الفرعية غير قابلة للتمييز باستخدام هذا الصبغ النسيج
ي.)ب(الفص الخلفي، المكون من نسيج عصبي.

أ: خوسيه لويس كالفو/Shutterstock؛ ب: Biophoto Associates/Science Source

هرمونات الجنس المبيضية وتطور الجريبات الشبيهة بالفقاعات
التي تحتوي على البويضات. في الخصيتين، يحفز إنتاج الحيوانا
ت المنوية.

2. هرمون اللوتين)LH(. يُفرز LH أيضًا بواسطة خلايا الغدد ال
تناسلية. في الإناث، يحفز الإباضة، إطلاق بويضة. سُمي
بهذا الاسم لأن الجريب بعد الإباضة يتحول إلى جسم أص
فر يسمى

الجدول 17.2	الهرمونات المحررة والمثبطة من تحت المهاد التي تنظم الغدة النخامية الأمامية
الهرمون	**التأثيرات الرئيسية**
هرمون تحرير الثيروتروبين)TRH(	يعزز إفراز هرمون تحفيز الغدة الدرقية)TSH(والبرولاكتين)PRL(
هرمون تحرير الكورتيكوتروبين)CRH(	يعزز إفراز هرمون الأدرينوكورتيكوتروبين)ACTH(
هرمون تحرير الغونادوتروبين)GnRH(	يعزز إفراز هرمون تحفيز الجريبات)FSH(وهرمون اللوتين)LH(
هرمون تحرير هرمون النمو)GHRH(	يعزز إفراز هرمون النمو)GH(
هرمون مثبط البرولاكتين)PIH(	يمنع إفراز البرولاكتين)PRL(
السوماتوستاتين	يمنع إفراز هرمون النمو)GH(وهرمون تحفيز الغدة الدرقية)TSH(

TABLE 17.3	هرمونات الغدة النخامية	
الهرمون	**العضو أو النسيج المستهدف**	**التأثيرات الرئيسية**
الغدة النخامية الأمامية		
هرمون تحفيز الجريبات (FSH)	المبايض، الخصيتان	الأنثى: نمو جريبات المبيض وإفراز الإستروجين الذكر: إنتاج الحيوانات المنوية
هرمون اللوتين (LH)	المبايض، الخصيتان	الأنثى: الإباضة، الحفاظ على الجسم الأصفر الذكر: إفراز التستوستيرون
الهرمون المنشط للغدة الدرقية (TSH)	الغدة الدرقية	نمو الغدة الدرقية، إفراز هرمون الغدة الدرقية
الهرمون المنشط لقشرة الغدة الكظرية (ACTH)	قشرة الغدة الكظرية	نمو قشرة الغدة الكظرية، إفراز الجلوكوكورتيكويدات
البرولاكتين (PRL)	الغدد الثديية	تكوين الحليب
هرمون النمو (GH)	الكبد، العظام، الغضاريف، العضلات، الدهون	نمو واسع النطاق للأنسجة، خاصة فى الأنسجة المذكورة
الغدة النخامية الخلفية		
هرمون مضاد لإدرار البول (ADH)	الكلى	احتباس الماء
الأوكسيتوسين (OT)	الرحم، الغدد الثديية	تقلصات الولادة، إفراز الحليب؛ قد يشارك فى القذف، نقل الحيوانات الم نوية، العاطفة الجنسية، ورباط الأم والطفل

حتى فى الترابط بين الأب والطفل، حيث يعزز التعاطف الأبو
ى والدافع للعناية بالأبناء. ولهذا التأثير أيضًا على ذكور بعض أ
نواع الثدييات الأخرى.

17.2e التحكم فى إفراز الغدة النخامية

لا تُفرز هرمونات الغدة النخامية بمعدلات ثابتة. يُفرز هرمون النمو ب
شكل رئيسى فى الليل، ويبلغ هرمون اللوتين ذروته فى منتصف دورة
الحيض، ويزداد الأوكسيتوسين خلال المخاض والرضاعة، على سبيل ا
لمثال. يتم تنظيم توقيت وكمية إفراز الغدة النخامية بواسطة الوطاء،
ومراكز دماغية أخرى، وردود الفعل من الأعضاء المستهدفة.

التحكم الوطائى والدماغى

كلا فصى الغدة النخامية يخضعان بشدة لسيطرة الدماغ. يتيح التحكم
الوطائى للدماغ مراقبة الظروف داخل وخارج الجسم وتحفيز أو تثبيط إ
فراز هرمونات الفص الأمامى استجابة لذلك. على سبيل المثال، فى أ
وقات التوتر، يحفز الوطاء إفراز هرمون قشر الكظر (ACTH)، مما يؤدى
إلى إفراز الكورتيزول وتعبئة المواد اللازمة لإصلاح الأنسجة. أثناء الحم
ل، يحفز الوطاء إفراز البرولاكتين ليكون الجسم مستعدًا للرضاعة بعد
ولادة الطفل.

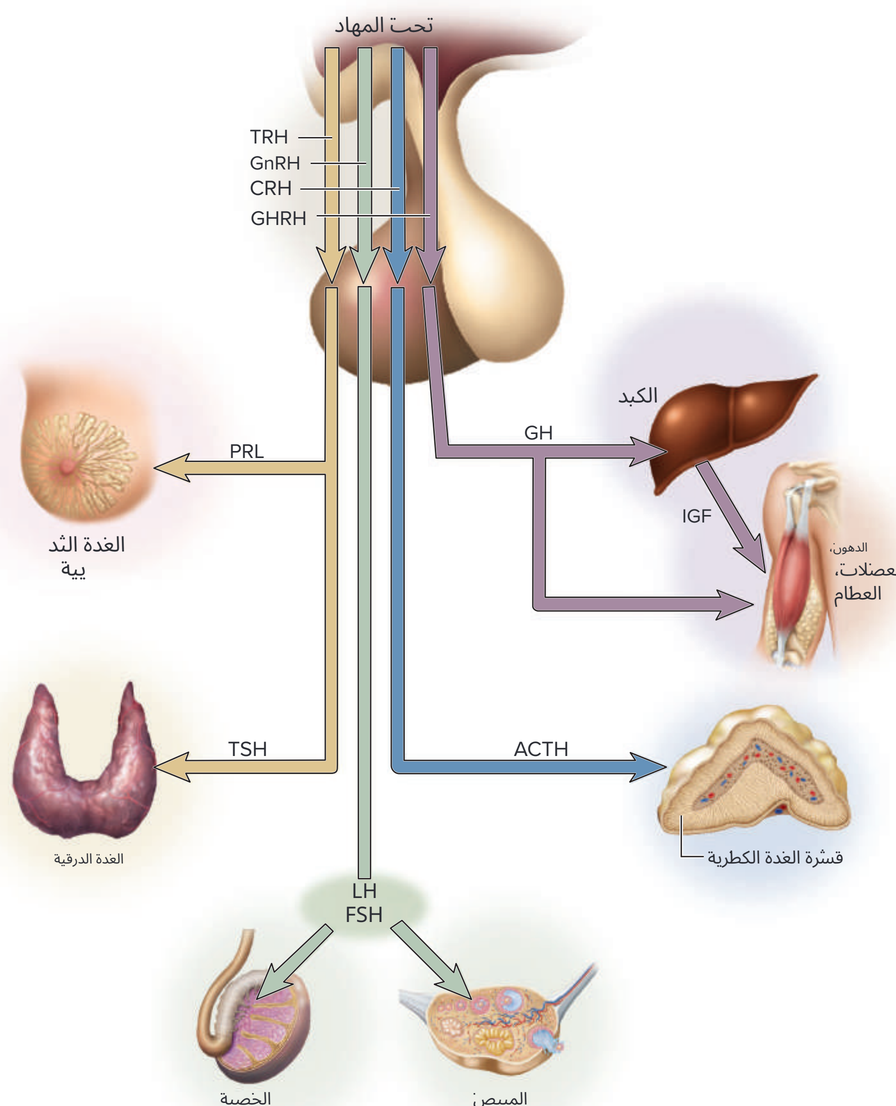
يتم التحكم فى الغدة النخامية الخلفية بواسطة الانعكاسات الع
صبية الصماء — إفراز الهرمونات استجابةً للإشارات العصبية.
على سبيل المثال، يؤدى الجفاف إلى زيادة أسمولارية الدم، والتى يتم ا
كتشافها بواسطة خلايا عصبية فى الوطاء تُسمى *مستقبلات الأسمول* .
تقوم هذه المستقبلات بتحفيز إفراز هرمون مضاد لإدرار البول (ADH)
، الذى يعزز حفظ الماء. وعلى النقيض من ذلك، يحفز ارتفاع ضغط الد
م مستقبلات التمدد فى القلب وبعض الشرايين.
عن طريق انعكاس عصبى صماوى آخر، يقوم هذا بتثبيط إفراز الهرمون المضاد لإد
رار البول (ADH)، ويزيد من إخراج البول، ويعيد حجم الدم والضغط إلى الوضع الط
بيعى.
مصّ الرضيع يحفز أيضًا انعكاسًا عصبيًا صماويًا
توسطه الأوكسيتوسين. تحفيز الحلمة يرسل إشارات عصبية

وغدة صماء أخرى تقع فى المسار تُسمى محور — على سبيل المثال
محور الوطاء-النخامية-الغدة الدرقية، على سبيل المثال . الشكل 17.6
يلخص هذه العلاقات بين الوطاء،
النخامية الأمامية، والأعضاء المستهدفة الأبعد.

17.2d هرمونات الغدة النخامية الخلفية

الهرمونان اللذان يفرزان من الفص الخلفى هما هرمون مضاد لإدرار البول (A
DH) وهرمون الأوكسيتوسين (OT) (الجدول 17.3). كما رأينا سا
بقًا، يتم تصنيعهما فى الوطاء، ثم يُنقلان إلى الغدة النخامية الخلفية ويُخزنان
حتى يتم إطلاقهما عند الطلب. وظائفهما هى كما يلى:

1. هرمون مضاد لإدرار البول (ADH). يزيد ADH من احتباس الماء
فى الكلى، ويقلل من حجم البول، ويساعد فى منع الجفاف. كما
يعمل ADH كناقل عصبى فى الدماغ وعادةً ما يُسمى *الأرجينى
ن فازوبريسين (AVP)* فى الأدبيات العصبية. يشير هذا الاسم إ
لى قدرته على التسبب فى تضيق الأوعية الدموية، لكن هذا ا
لتأثير يتطلب تركيزات عالية جدًا بشكل غير طبيعى لجسم الإ
نسان، لذا فإن أهميته مشكوك فيها إلا فى الحالات المرضية. ى
شير اسم ADH إلى وظيفته الأكثر شيوعًا فى فسيولوجيا الإنسان
اليومية.
2. هرمون الأوكسيتوسين (OT). لهرمون الأوكسيتوسين وظائف
تناسلية متنوعة فى مواقف تتراوح من الجماع إلى الرضاعة. وه
و معروف بشكل خاص كمحفز قوى لانقباضات المخاض (انظ
ر الشكل 1.9 والقسم 28.5د). يرتفع مستواه فى كلا الجنسين أ
ثناء الإثارة الجنسية والنشوة، وربما يساعد فى دفع السائل الم
نوى عبر الجهاز التناسلى الذكرى وتحفيز انقباضات الرحم ال
تى تساعد فى نقل الحيوانات المنوية عبر الجهاز التناسلى الأ
نثوى. كما يعمل الأوكسيتوسين فى مشاعر الرضا الجنسى وال
ترابط العاطفى بين الشريكين. فى النساء المرضعات، يحفز
تدفق الحليب من أعماق الغدة الثديية إلى الحلمة حيث يمكن
للرضيع الوصول إليه. قد يعزز أيضًا الترابط العاطفى بين الأم والر
ضيع. فى غياب الأوكسيتوسين، تميل الثدييات الأنثوية الأخر
ى إلى إهمال صغارها العاجزين، حتى السماح لهم بالموت.
وقد تبين مؤخرًا أنه مهم



الشكل 17.6 علاقات الوطاء - الغدة النخامية - العضو المستهدف. الهرمونات المحررة من الوطاء، الموضحة فى الأعلى، تحفز إفراز جميع هرمونات الغدة النخامية الأمامية)فى الأسفل(.

تنظم أيضًا الغدة النخامية والوطاء من خلال حلقات تغذية راجعة مخ تلفة.

غالبًا ما يتخذ هذا شكل التثبيط بالتغذية الراجعة السلبية— حيث تحفز الغدة النخامية غدة صماء أخرى لإفراز هرمونها، ويعود هذا الهرم ون ليؤثر على الغدة النخامية أو الوطاء ويثبط المزيد من إفراز هرمون ا لغدة النخامية.الشكل 17.7 يُظهر هذا فى محور الوطاء-الغدة النخامية-الغدة الدرقية كمثال. الشكل مرقم ليتوافق مع الوصف التالى:

1 الوطاء يفرز هرمون مطلق للثيروتروبين)TRH(.

2 هرمون TRH يحفز الغدة النخامية الأمامية لإفراز هرمون تح فيز الغدة الدرقية)TSH(.

3 هرمون TSH يحفز الغدة الدرقية لإفراز هرمون الغدة ا لدرقية)TH(.

يصعد عبر الحبل الشوكى وجذع الدماغ إلى الوطاء ومن هناك إلى الغد ة النخامية الخلفية. هذا يسبب إفراز الأوكسيتوسين، الذى يحفز إفراز ا لحليب. يمكن أن تشمل الانعكاسات العصبية الصماء أيضًا مراكز الد ماغ العليا. على سبيل المثال، يمكن أن يُثار هذا الانعكاس الخاص بالر ضاعة عندما تسمع المرأة ببساطة بكاء طفل—أى طفل—ويمكن أن يؤثر التوتر العاطفى على إفراز الهرمونات المنشطة للمبيض، مما يعط ل الإباضة، إيقاع الدورة الشهرية، والخصوبة.

طبق ما تعرفه

أى من الموضوعات الرئيسية فى نهاية الفصل الأول يُمثّل بشكل أفضل بوا سطة المنعكسات العصبية الصمائية التى تتحكم فى إفراز الهرمون المضاد لإ درار البول)ADH(؟

التغذية الراجعة من الأعضاء المستهدفة

تنظيم الغدد الصماء الأخرى بواسطة الغدة النخامية ليس مجرد نظام " أمر من الأعلى إلى الأسفل". تلك الأعضاء المستهدفة

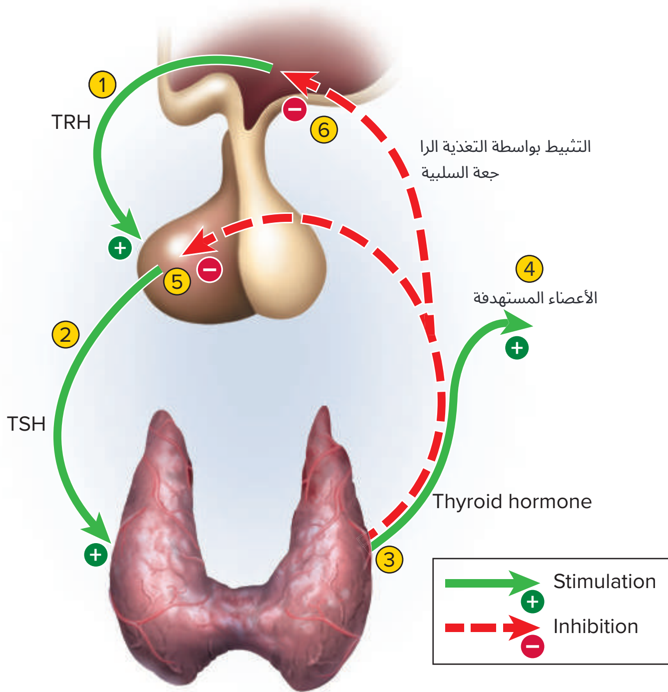


FIGURE 17.7 Negative Feedback Inhibition of the Pituitary Gland by the Thyroid Gland. See text for explanation of numbered steps.

4 تحفز الهرمونات الدرقية أيص معظم الخلايا فى جميع أنحاء الجسم.

5 يمنع الهرمون الدرقى أيضًا *إفراز* هرمون تحفيز الغدة الدرقية)TSH(من الغدة النخامية.

6 وبدرجة أقل، يمنع الهرمون الدرقى أيضًا *إفراز* هرمون إفراز الهرمون المحفز للغدة الدرقية)TRH(من الوطاء.

يتكون التثبيط الراجع السلبى فى هذه العملية من الخطوتين 5 و6. ى صمن ذلك أنه عندما يكون مستوى الهرمون الدرقى مرتفعًا، يبقى إفراز هر مون تحفيز الغدة الدرقية)TSH(معتدلاً. إذا انخفض إفراز هرمون الغدة الد رقية، يرتفع إفراز TSH ويحفز الغدة الدرقية على إفراز المزيد من الهرمون. يحافظ هذا التراجع الراجع على مستويات هرمون الغدة الدرقية متذبذبة حول نقطة ضبط بطريقة توازن داخلية نموذجية.

▶▶▶ طبق ما تعرفه

إذا تمت إزالة الغدة الدرقية من مريض مصاب بالسرطان، هل تتوقع أن يرتفع مستوى TSH أم ينخفض؟ ولماذا؟

لا يكون التراجع الراجع من عضو مستهدف دائمًا مثبطًا. كما ذُكر سابقًا، يحفز الأوكسيتوسين)OT(دورة تغذية راجعة إيجابية أثناء الولا دة)انظر الشكل 1.9(. يرسل تمدد الرحم إشارة عصبية إلى الدماغ تح فز إفراز الأوكسيتوسين. يحفز الأوكسيتوسين انقباضات الرحم، التى تدفع الطفل إلى الأسفل. هذا يمدد الطرف السفلى للرحم أكثر، مما يؤ دى إلى إشارة عصبية تحفز إفراز المزيد من الأوكسيتوسين. تستمر هذ ه الدورة الإيجابية وتتزايد حتى يولد الطفل.

17.2f نظرة أعمق على هرمون النمو

تُمارس التأثيرات النهائية لمعظم هرمونات الغدة النخامية من خلال الغدد الصماء الأبعد فى المسار، مثل الغدة الدرقية وقشرة الغدة الكظرية والغدد التناسلية. لذلك، سندرس تلك التأثيرات فى القسم التالى أثناء استعراضنا لتلك الغدد. هرمون النمو)GH(هو موضوع مختلف ويس تحق المزيد من الاستكشاف فى هذه المرحلة.

على عكس هرمونات الغدة النخامية الأخرى، لا يستهدف هرمون النم و)GH(عضوًا واحدًا أو عددًا قليلاً فقط بل له تأثيرات واسعة النطاق على ا لجسم. بالإضافة إلى تحفيزه المباشر لأنسجة متنوعة مثل العضلات والعظ ام، يحفز الكبد وأنسجة أخرى على إفراز محفزات النمو المسماة عوامل ال نمو الشبيهة بالإنسولين)IGF-I و IGF-II(، أو السوماتوميدينات،[12] الت ى تحفز بعد ذلك خلايا مستهدفة أخرى)الشكل 17.6(. معظم هذه التأثيرا ت ينتج عن IGF-I، لكن IGF-II مهم فى نمو الجنين.

أحد تأثيرات عامل النمو الشبيه بالأنسولين)IGF(هو إطالة مدة عمل هرمون ا لنمو)GH(. جميع الهرمونات لها نصف عمر، وهو الوقت اللازم لتصفية 50% من الهر مون من الدم. هرمون النمو قصير العمر؛ حيث أن نصف عمره يتراوح فقط بين 6 إلى 20 دقيقة. أما عوامل النمو الشبيهة بالأنسولين)IGFs(، فلها أنصاف أعمار تبلغ حوا لى 20 ساعة. تشمل آليات عمل هرمون النمو–IGF ما يلى:

- تخليق البروتين. يتطلب نمو الأنسجة تخليق البروتين، ويحتاج تخليق البروتين إلى شيئين: الأحماض الأمينية كمواد بناء، والحمض النووى الريبوزى المرسل)mRNA(للتعليمات. خلال دقائق من إفرازه، يعزز هرمون النمو ترجمة الحمض النوو ى الريبوزى المرسل الموجود، وخلال ساعات قليلة، يعزز أيضًا ن سخ الحمض النووى وبالتالى إنتاج المزيد من الحمض النووى ا لريبوزى المرسل. كما يعزز هرمون النمو نقل الأحماض الأمي نية إلى داخل الخلايا، ولضمان تفوق تخليق البروتين على تح لله، فإنه يثبط تحلل البروتين.
- استقلاب الدهون. لتوفير الطاقة للأنسجة النامية، يحفز هرمون النمو الخلايا الدهنية على تحلل الدهون وإطلاق الأحماض الده نية والجلسرين إلى الدم. من خلال توفير هذه الوقود، يجعل هر مون النمو من غير الضرورى أن تستهلك الخلايا بروتيناتها ا لخاصة. يُسمى هذا التأثير تأثير حفظ البروتين.
- استقلاب الكربوهيدرات. لهرمون النمو أيضًا تأثير حفظ الجلوكوز. دوره فى تعبئة الأحماض الدهنية يقلل من اعتماد معظم الخلا يا على الجلوكوز حتى لا تتنافس مع الدماغ، الذى يعتمد بشكل كبير على الجلوكوز. كما يحفز هرمون النمو تخليق الجلوكوز بوا سطة الكبد.
- توازن الإلكتروليتات. يعزز هرمون النمو احتباس الصوديوم وا لبوتاسيوم والكلوريد بواسطة الكلى، ويعزز امتصاص الكالسيوم فى الأمعاء الدقيقة، ويجعل هذه الإلكتروليتات متاحة للأنسجة ا لنامية.

أبرز تأثيرات هرمون النمو تكون على نمو العظام والغضاريف والع ضلات، خاصة خلال فترة الطفولة والمراهقة.

يسرع IGF-I نمو العظام عند صفائح النمو)الصفائح المشاشية(. يحفز تكاثر الخلايا الغضروفية)الخلايا الغضروفية(والخلايا المكونة للعظم با لإضافة إلى ترسيب البروتين فى مصفوفة الغضروف والعظم. فى مر حلة البلوغ، يحفز نشاط الخلايا البانية للعظم والنمو العرضى للعظم؛ و بالتالى، يستمر فى التأثير على زيادة سمك العظم وإعادة تشكيله.

يتقلب إفراز هرمون النمو بشكل كبير خلال اليوم. يرتفع إلى 20 نا نوجرام لكل مليلتر)ng/mL(من بلازما الدم أو أكثر خلال أول ساعتين من النوم العميق، وقد يصل إلى 30 ng/mL استجابةً للتمارين الريا ضية الشديدة. يرتفع إفراز هرمون النمو بشكل حاد استجابةً للرضوض ، والضغط البدنى أو العاطفى، وانخفاض سكر الدم)نقص السكر(، وحا لات أخرى. تحدث ذروات صغيرة بعد الوجبات الغنية بالبروتين، لكن ا لوجبات الغنية بالكربوهيدرات تميل إلى تثبيط إفراز هرمون النمو.

[12] اختصار لـ بروتين ناقل للسوماتوتروبين

تشابهها مع ثمرة صنوبر البحر الأبيض المتوسط)وليس مخروط الصنوبر كما يُعتقد غالبًا(. اعتقد الفيلسوف رينيه ديكارت)1596– 1650(، وكثيرون قبله، أنها مقر الروح البشرية. إذا كان الأمر كذلك، يجب أن يكون لدى الأطفال روح أكثر من البالغين — فالغدة الصنوبرية للطفل طولها حوالي 8 مم وعرضها 5 مم، ولكن بعد سن 7 تتراجع بسرعة ولا تزيد عن كتلة صغيرة من الأنسجة الليفية المنكمشة في البالغين. يُسمى هذا الانكماش في العضو التراجع.[14] يصل إفراز الغدة الصنوبرية إلى ذروته بين سن 1 و5 سنوات وينخفض بنسبة 75% بحلول نهاية فترة البلوغ.

لم نعد نبحث عن الروح البشرية في الغدة الصنوبرية، لكن هذا العضو الصغير لا يزال لغزًا مثيرًا. يبدو أنه "مربوط" ليستجيب للمعلومات القادمة من العينين حول ساعات الضوء والظلام النسبية في البيئة. بعض ألياف العصب البصري، بدلاً من الذهاب إلى القشرة البصرية في الدماغ، تنفصل وتتبع مسارًا مختلفًا غير بصري. تتشابك أولاً مع عصبون من الدرجة الثانية في *النوى فوق التصالبية)SCNs(* في تحت المهاد. من هنا تنتقل الإشارة عبر مسار معقد:

SCN → *النوى المجاورة للبطين* → نزولاً عبر جذع الدماغ والحبل العقد السلسلة الودية→ ألياف العصب الودي قبل العقدة→ شوكي → العقدة العنقية العلوية)انظر القسم 15.2a الألياف الودية بعد العقدة← العودة إلى تجويف الجمجمة وينتهي أخيرًا في الغدة الصنوبرية.)يوضح الشكل 14.12 النوى فوق التصالبية والمجاورة للبطين.(

تلعب النوى فوق التصالبية دورًا مهمًا في تنظيم الإيقاعات اليومية البيولوجية التي تستمر حوالي 24 ساعة والمتزامنة مع دورة الضوء والظلام البيئية، بما في ذلك نشاط الغدة الصنوبرية. في الليل، تقوم الغدة الصنوبرية بتخليق الميلاتونين وهو مونوأمين، من السيروتونين. يصل إفراز الميلاتونين إلى ذروته بعد حوالي 3 إلى 5 ساعات من بداية النوم كل ليلة، ويتقلب موسميًا. مستقبلات الميلاتونين منتشرة في الجسم ووظائفه متنوعة للغاية.

يلعب الميلاتونين دورًا في إيقاعات الجسم اليومية، ويعزز النوم، وله خصائص مضادة للأكسدة ومضادة للسرطان. في الحيوانات الأخرى التي تتكاثر موسمياً، ينظم الغدد التناسلية ويحدد موسم التكاثر السنوي. قد يثبط الميلاتونين إفراز الهرمونات المنشطة للغدد التناسلية في البشر؛ إزالة الغدة الصنوبرية من الحيوانات تسبب النضج الجنسي المبكر. يعتقد بعض علماء الفسيولوجيا أن الغدة الصنوبرية البشرية قد تنظم توقيت البلوغ، لكن لم يتم إثبات دورها بوضوح حتى الآن.

17.3b الغدة الزعترية)التيموس(

الغدة الزعترية تلعب دورًا في ثلاثة أنظمة: الغدد الصماء، الجهاز اللمفاوي، وجهاز المناعة. إنها غدة ذات فصين تقع في المنصف العلوي فوق القلب، خلف رأس عظمة القص. في الجنين والرضيع، تكون كبيرة جدًا مقارنة بالأعضاء المجاورة، تمتد أحيانًا بين الرئتين من قرب الحجاب الحاجز إلى قاعدة الرقبة)الشكل 17.8أ(. تستمر في النمو حتى سن 5 أو 6 سنوات. في البالغين، تزن الغدة حوالي 20 جرامًا حتى سن 60، لكنها بعد ذلك، مثل الغدة الصنوبرية، تخضع للتراجع وتصبح دهنية أكثر وأقل غدية. في كبار السن، تصبح بقايا صغيرة ليفية ودهنية بالكاد يمكن تمييزها عن الأنسجة المحيطة في المنصف)الشكل 17.8ب(. وهذا له آثار مهمة على المناعة وكفاءة التطعيم في سن الشيخوخة)انظر الفصل 21(.

الغدة الزعترية هي موقع نضوج لبعض خلايا الدم البيضاء المسماة خلايا T والتي لها أهمية حاسمة في الدفاع المناعي. إنها

منبه آخر لإفراز هرمون النمو هو الغريلين[13])غريلين(، هرمون يُفرز من المعدة، خاصة عندما تكون فارغة. يعمل الغريلين على الوطاء لإنتاج إحساس بالجوع وكذلك لتحفيز إفراز هرمون إطلاق هرمون النمو)GHRH(. وهذا بدوره يحفز ارتفاعًا في إفراز هرمون النمو، مما يهيئ الأعضاء المستهدفة المختلفة للاستفادة من المغذيات التي يُفترض أن يتم تناولها.

ينخفض مستوى هرمون النمو تدريجيًا مع التقدم في العمر. يبلغ متوسط مستوى المصل حوالي 6 نانوغرام/مل في فترة المراهقة وربع ذلك في سن الشيخوخة المتقدمة. قد يساهم الانخفاض الناتج في تخليق البروتين في شيخوخة الأنسجة، بما في ذلك تجعد الجلد وانخفاض كتلة العضلات وقوتها. في عمر 30 عامًا، يتكون جسم البالغ المتوسط من 10% عظام، 30% عضلات، و20% دهون؛ أما في عمر 75 عامًا، فيتكون من 8% عظام، 15% عضلات، و40% دهون.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

6. ما سببان جيدان للنظر إلى الغدة النخامية على أنها غدتان منفصلتان؟
7. قارن بإيجاز بين التحكم الوطائي في الغدة النخامية الأمامية وتحكمه في الغدة النخامية الخلفية.
8. اذكر ثلاثة هرمونات من الفص الأمامي لها وظائف تناسلية وثلاثة لها أدوار غير تناسلية. ما هي الأعضاء المستهدفة التي تحفزها كل من هذه الهرمونات؟
9. بأي معنى "تتلقى الغدة النخامية الأوامر" من الأعضاء المستهدفة التي تحت سيطرتها؟
10. الكبد لا يفرز هرمون النمو، لكنه يعزز عمله. كيف؟ كيف يؤثر هرمون النمو على أيض البروتينات والدهون والكربوهيدرات؟

17.3 الغدد الصماء الأخرى

النتائج التعليمية المتوقعة

عندما تكمل هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف تركيب وموقع الغدد الصماء المتبقية؛

ب. سمِّ الهرمونات التي تنتجها هذه الغدد الصماء، ما الذي يحفز إفرازها، ووظائفها؛ و

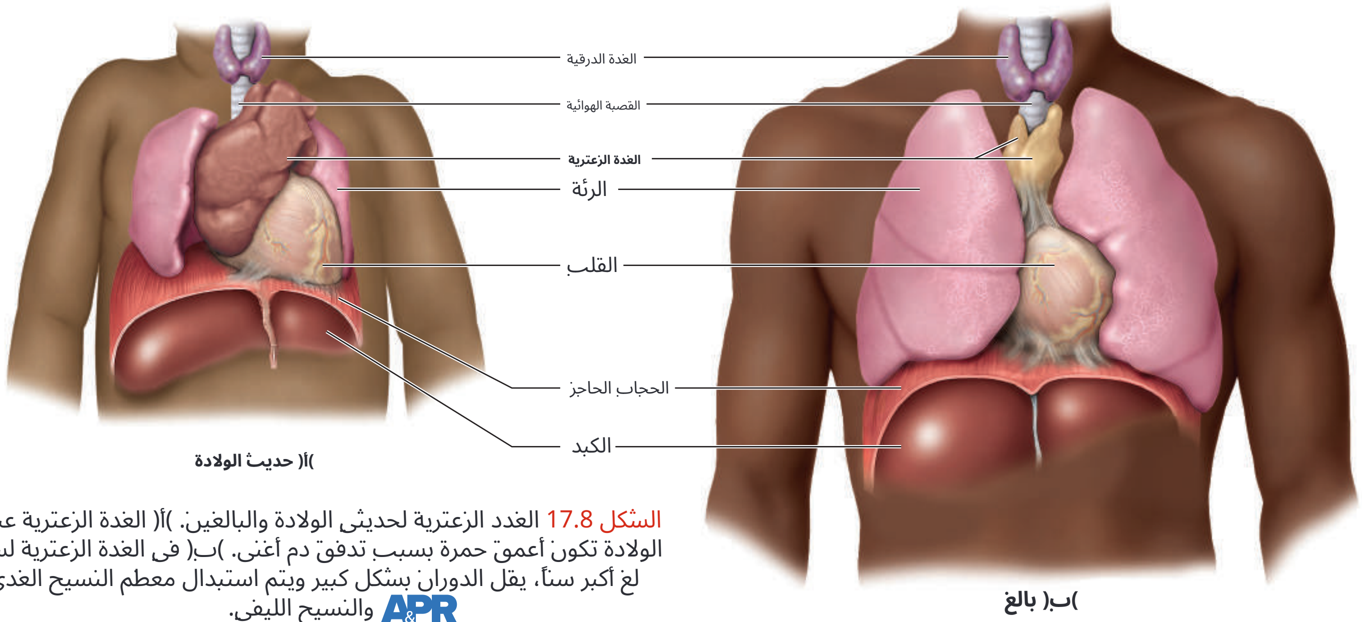
ج. ناقش الهرمونات التي تنتجها الأعضاء والأنسجة غير الغدد الصماء الكلاسيكية.

17.3a الغدة الصنوبرية

الغدة الصنوبرية)PIN-ee-ul(متصلة بسقف البطين الثالث في الدماغ، تحت الطرف الخلفي للجسم الثفني)انظر الأشكال 14.2 و17.1(. سمى جالين الغدة الصنوبرية بسبب

[13] سميت جزئياً من *ghre* = النمو، وجزئياً كاختصار لـ *هرمون إطلاق هرمون النمو (hormone–releasing hormone)*

[14] *in* = إلى الداخل؛ *volution* = التدحرج أو الدوران



الشكل 17.8 الغدد الزعترية لحديثى الولادة والبالغين.)أ(الغدة الزعترية عند حديثى الولادة تكون أعمق حمرة بسبب تدفق دم أغنى.)ب(فى الغدة الزعترية لشخص با لغ أكبر سناً، يقل الدوران بشكل كبير ويتم استبدال معطم النسيج الغدى بالدهون والنسيج الليفى. APR

تفرز عدة هرمونات)الثيموبويتين، الثيموسين، و الثيمولين(التى تح فز تطور أعضاء لمقاوية أخرى وتنظم تطور ونشاط خلايا T. يتم مناقش ة نسيجها ووطيفتها المناعية بشكل أكثر تفصيلًا فى الفصل 21.

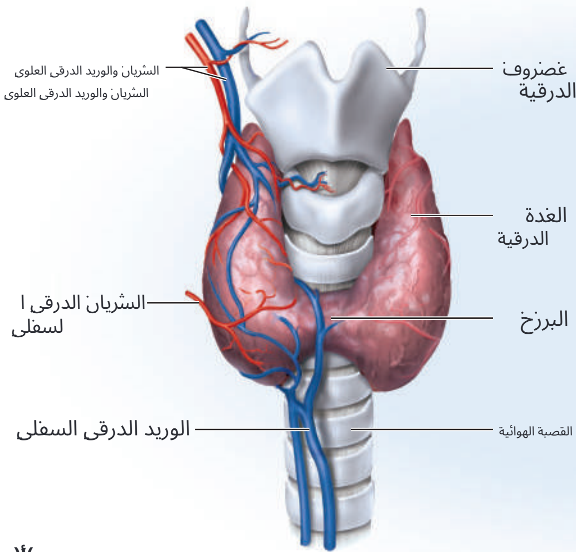
17.3c الغدة الدرقية

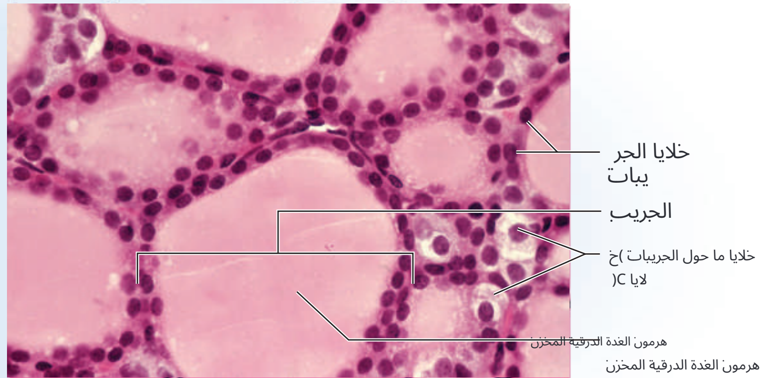
الغدة الدرقية هى أكبر غدة لدى البالغين ذات وظيفة صماء بحتة، وتزن حوالى 25 جرامًا. تقع بجانب القصبة الهوائية مباشرة تحت الحنجرة، وسُميت نسبة إلى الغضروف الدرقى المجاور لها

الغضروف الدرقى الشبيه بالدرع[15] للحنجرة. تأخذ شكل فراشة تحيط بالقصبة الهوائية، مع فصين يشبهان الأجنحة عادة ما يرتبطان من الأ سفل بجسر ضيق من النسيج، وهو البرزخ **)الشكل 17.9أ(.**

نسيجيًا، تتكون الغدة الدرقية فى الغالب من أكياس تسمى حبوب الغدة الدرقية)الشكل 17.9ب(. كل منها مملوء بمادة غروية غنية بال بروتين ومبطن بطبقة طلائية مكعبة بسيطة من خلايا الحويصلات.

[15] thyr= درع؛ oid= يشبه





الشكل 17.9 تشريح الغدة الدرقية.)أ(التشريح الكلى، منظر أمامى.)ب(علم الأنسجة، يظهر جريبات الغدة الدرقية الكيسية)مصدر هرمون الغدة الدرقية(وع شائر خلايا C)مصدر الكالسيتونين(. APR

ب: Biophoto Associates/Science Source

تحتوى الغدة الدرقية أيضًا على تجمعات من الخلايا المجاورة للجُريبات ، المعروفة أيضًا باسم الخلايا الصافية)C(، على محيط الجريبات. تستجيب هذه الخلايا لارتفاع مستويات الكالسيوم فى الدم عن طريق إفراز هرمون الكالسيتونين. يعمل الكالسيتونين كمضاد لهرمون الغدة الجار درقية)الذى ستم مناقشته لاحقًا(ويحفز نشاط الخلايا البانية للعظام، مما يعزز ترسيب الكالسيوم وتكوين العظام. يعتبر الكالسيتونين مهمًا بشكل رئيسى عند الأطفال، الذين لديهم عدد من خلايا C أكثر بعشر مرات من البالغين؛ وله تأثير ضئيل على فسيولوجيا الهيكل العظمى لدى البالغين.

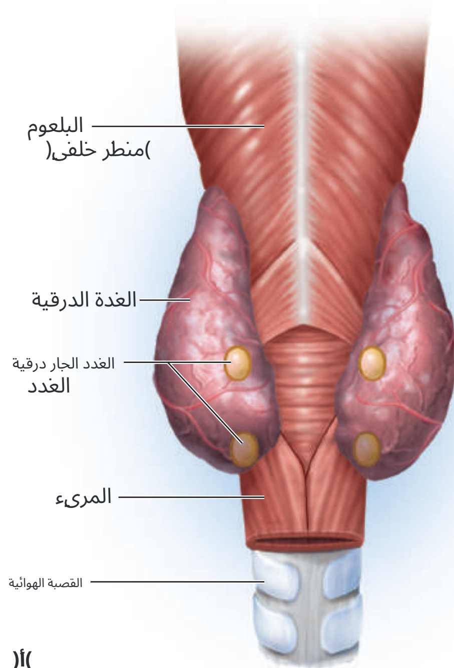
17.3d الغدد الجار درقية

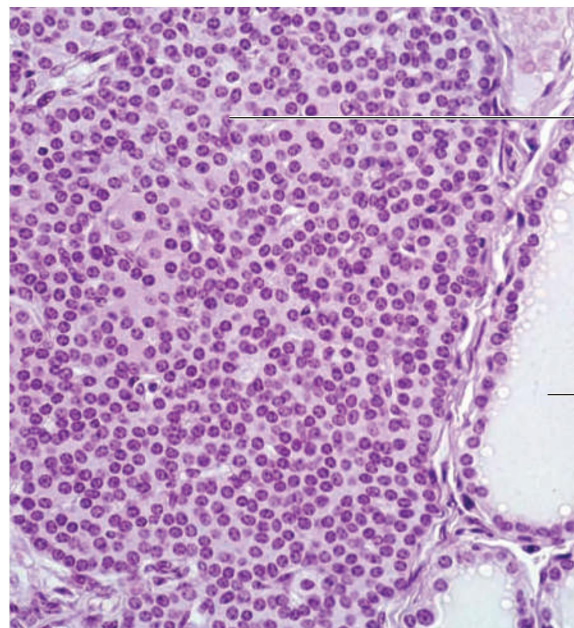
الغدد الدرقية الجار درقية هى غدد بيضاوية الشكل، عادة ما تكون أربع غدد، مدمجة جزئيًا فى السطح الخلفى للغدة الدرقية. يبلغ طول كل منها حو 3 إلى 8 مم وعرضها من 2 إلى 5 مم، وتفصلها عن جريبات الغدة الدرقية كبسولة ليفية رقيقة ونسيج دهنى.
)الشكل 17.10(. غالبًا ما تحدث فى مواقع أخرى تتراوح من عظم اللامة إلى أسفل قوس الأبهر، وحوالى 5% من الأشخاص لديهم أكثر من أربع غدد جارات الدرقية. تقوم بإفراز **para-**
هرمون الغدة الدرقية)PTH(، الذى ينظم مستوى الكالسيوم فى الدم. على عكس الغدة الدرقية، لا يتم تنظيم الغدد الجار درقية بواسطة الغدة النخامية، بل تراقب مباشرة تركيبة الدم وتفرز هرمون الغدة الجار درقية)PTH(عندما ينخفض مستوى الكالسيوم بشكل كبير. يرفع هرمون الغدة الجار درقية مستوى الكالسيوم عن طريق تحفيز إعادة امتصاص الكالسيوم من العظام وتقليل فقدان الكالسيوم فى البول. إن توازن الكالسيوم ضرورى جدًا لوظائف الجهاز العصبى العضلى والقلب والأوعية الدموية، بحيث يمكن أن يموت الشخص خلال بضعة أيام فقط إذا أُزيلت الغدد الجار درقية دون بدء علاج هرمونى بديل. وقد حدث هذا لبعض المرضى بعد جراحة الغدة الدرقية قبل أن يدرك الجراحون وجود ووظيفة الغدد الجار درقية الصغيرة والمخفية تقريبًا.

تفرز هذه الخلايا حوالى 80 ميكروغرام)µg(من هرمون الغدة الدرقية)TH(يوميًا. حوالى 90% منه يكون فى شكل يُسمى الثيروكسين، T**4** أو رباعى يودوثيرونين)TET-ra-EYE-oh-doe-THY-ro-neen(، بسبب احتوائه على أربعة ذرات يود. النسبة المتبقية 10% تكون فى شكل يحتوى على ثلاث ذرات يود، يُسمى ثلاثى يودوثيرونين أو **T3**. أى أن التعبير *هرمون الغدة الدرقية* يشير إلى T3و T4معًا.
مثل الغدد الصماء الأخرى، يفرز الغدة الدرقية هذه الهرمونات مباشرة فى مجرى الدم. كل جريب محاط بشبكة تشبه السلة من الشعيرات الدموية، وهى تجمعات كروية من الأوعية الدموية تظهر فى صورة افتتاح هذا الفصل. يتم تزويد هذه الشعيرات الدموية بواسطة الشرايين الدرقية العلوية والسفلية الموضحة فى الشكل 17.9أ. تستقبل الغدة الدرقية واحدة من أعلى معدلات تدفق الدم فى الجسم لكل غرام من النسيج، وبالتالى يكون لونها بنى محمر داكن.
يتم تحفيز أو تثبيط إفراز هرمون الغدة الدرقية)TH(بواسطة تقلبات فى معدل الأيض.يراقب الدماغ معدل الأيض فى الجسم ويحفز إفراز هرمون الغدة الدرقية من خلال عمل هرمون مطلق الهرمون المحفز للغدة الدرقية)TRH(وهرمون تحفيز الغدة الدرقية)TSH(كما هو موضح فى الشكل 17.7. التأثير الأساسى لهرمون الغدة الدرقية هو زيادة معدل الأيض. ونتيجة لذلك، يزيد من استهلاك الأكسجين وله تأثير حرارى[16] — حيث يزيد من إنتاج الحرارة. لضمان توفير دم وأكسجين كافيين لتلبية هذا الطلب الأيضى المتزايد، يرفع هرمون الغدة الدرقية أيضًا معدل التنفس، ومعدل ضربات القلب، وقوة نبض القلب. كما يحفز الشهية ويسرع من تحلل الكربوهيدرات والدهون والبروتين للحصول على الطاقة. كما يعزز هرمون الغدة الدرقية اليقظة وردود الفعل السريعة؛ وإفراز هرمون النمو؛ ونمو العظام والجلد والشعر والأظافر والأسنان؛ وتطور الجهاز العصبى الجنينى.

---

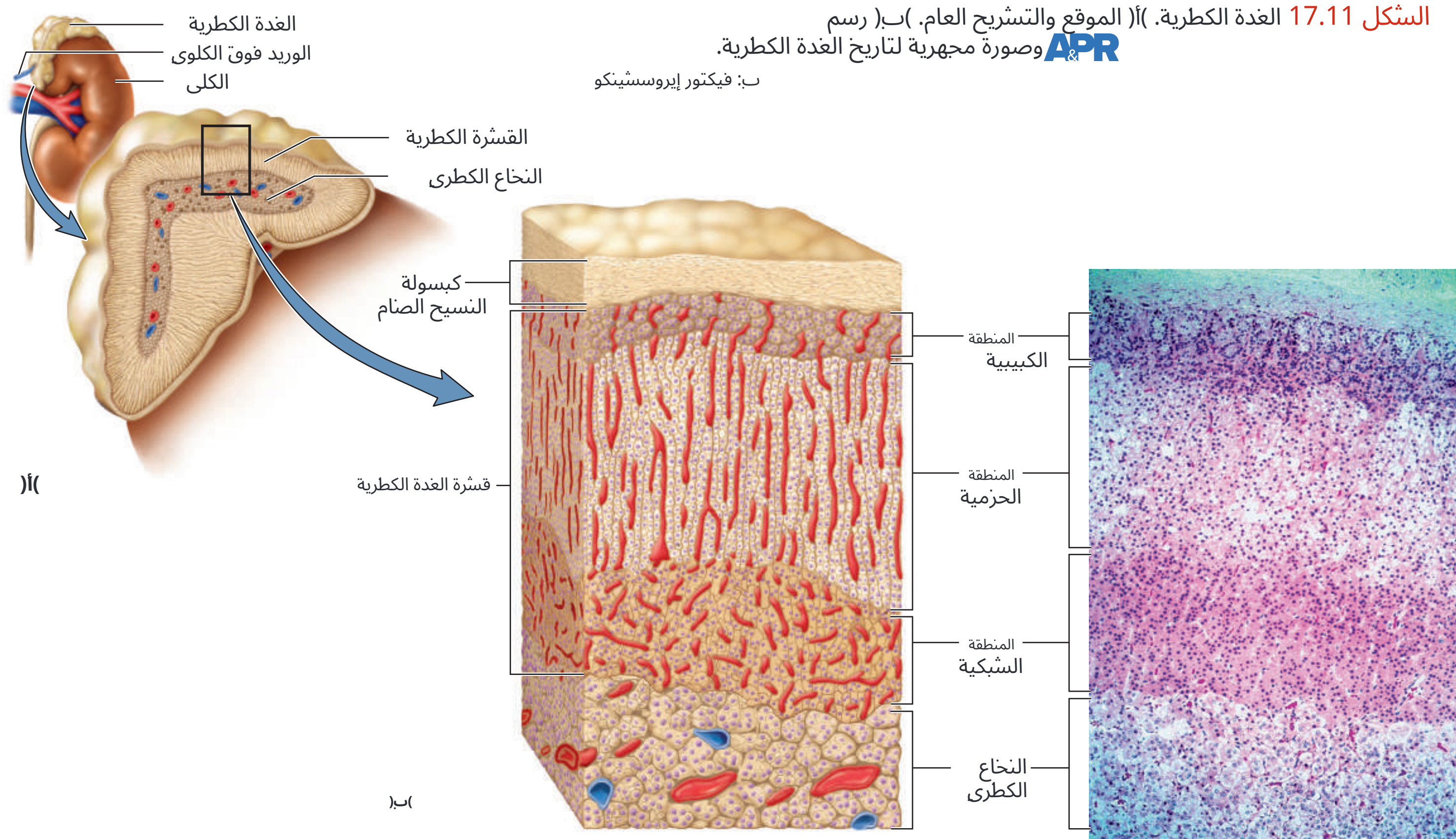
[16] *حرارة* = heat; *مولد* = producing





الشكل 17.10 الغدد الجار درقية.)أ(موقع الغدد الجار درقية الأربعة المعتادة المدمجة جزئياً فى السطح الخلفى لغدة الدرقية.)ب(علم الأنسجة لغدة جار درقية بالنسبة لكبسولتها الليفية والأنسجة الدرقية والدهون المجاورة. APR

ب: فيكتور ب. إيروسشينكو



الشكل 17.11 الغدة الكظرية.)أ(الموقع والتشريح العام.)ب(رسم وصورة مجهرية لتاريخ الغدة الكظرية. APR

ب: فيكتور إيروسشينكو

الخلايا هى فى الأساس خلايا عصبية بعد عقدية ودية، لكنها لا تحتوى على تفرعات شجرية أو محاور عصبية وتفرز منتجاتها فى مجرى الدم مثل أى غدة صماء أخرى. لذلك، تعتبر خلايا عصبية صماء.

عند تحفيزها بواسطة ألياف الأعصاب — كما فى حالة الخوف أو الألم أو التوتر — تفرز خلايا الكرومافين مزيجًا من الكاتيكولامينات التى تعرفنا عليها سابقًا كناقلات عصبية)انظر الشكل 12.22(: حوالى ثلاثة أرباع الأدرينالين، وربع النورأدرينالين، وكمية ضئيلة من الدوبامين. والآن نجدها تعمل كهرمونات. تزيد من اليقظة وتجهز الجسم بعدة طرق للنشاط البدنى. تحفز استخدام مصادر الطاقة العالية مثل اللاكتات، الأحماض الدهنية، والجلوكوز. يعزز الكبد مستويات الجلوكوز من خلال تحلل الجليكوجين)تحليل الجليكوجين إلى جلوكوز(و تكوين الجلوكوز الجديد)تحويل الدهون، الأحماض الأمينية، وغيرها من المركبات غير الكربوهيدراتية إلى جلوكوز(.

يقال إن الأدرينالين له تأثير توفير الجلوكوز. فهو يثبط إفراز الأنسولين؛ لذا تمتص العضلات والأعضاء الأخرى المعتمدة على الأنسولين كمية أقل من الجلوكوز وتستهلكها. وتعتمد بدلاً من ذلك على مصادر طاقة بديلة مثل الأحماض الدهنية، بينما يُترك الجلوكوز فى الدم لاستخدام الدماغ، الذى يعتمد أكثر على الجلوكوز ولكنه لا يعتمد على الأنسولين.

تعمل الكاتيكولامينات الكظرية أيضًا على زيادة معدل ضربات القلب وضغط الدم، وتحفز الدورة الدموية إلى العضلات، وتزيد من تدفق الهواء الرئوى، وترفع معدل الأيض. فى الوقت نفسه، تقوم بتثبيط الوظائف التى تعتبر مؤقتًا غير ضرورية مثل الهضم وإنتاج البول حتى لا تتنافس على تدفق الدم والطاقة.

17.3e الغدد الكظرية

الغدد الكظرية[17])فوق الكلوية(تقع مثل قبعة على القطب العلوى لكل كلية)الشكل 17.11(. مثل الكليتين، فهى خلف الصفاق، تقع خارج تجويف الصفاق بين الصفاق وجدار الجسم الخلفى. يبلغ قياس الغدة الكظرية البالغة حوالى 5 سم عموديًا، و3 سم عرضًا، و1 سم من الأمام إلى الخلف. تزن حوالى 8 إلى 10 جرام عند الوليد، لكنها تفقد نصف هذا الوزن بحلول عمر سنتين، ويرجع ذلك أساسًا إلى انكماش طبقتها الخارجية، قشرة الكظر. وتظل تزن 4 إلى 5 جرام فى البالغين.

مثل الغدة النخامية، تتكون الغدة الكظرية من اندماج غدتين جنينيتين لهما أصول ووظائف مختلفة. نواتها الداخلية، النخاع الكظرى، يشكل 10% إلى 20% من الغدة. اعتمادًا على تدفق الدم، يتراوح لونها من الرمادى إلى الأحمر الداكن. تحيط بها قشرة الكظر التى هى أكثر سمكًا بكثير، وتشكل 80% إلى 90% من الغدة ولها لون مصفر بسبب تركيزها العالى من الكوليسترول والدهون الأخرى.

النخاع الكظرى

للنخاع الكظرى طبيعة مزدوجة، حيث يعمل كغدة صماء وكتلة عقدية للجهاز العصبى الودى.
تخترق ألياف الأعصاب قبل العقدية الودية القشرة لتصل إلى خلايا الكرومافين)كروم-أفين(فى النخاع.
سميت بهذا الاسم بسبب ميلها للتصبغ باللون البنى مع بعض الصبغات. هذه

[17] ad = إلى، نحو، قريب من؛ ren = كلية؛ al = متعلق بـ

يُستخدم على نطاق واسع فى المراهم لتخفيف التورم وعلامات الالتها ب الأخرى. ومع ذلك، فإن الإفراز المفرط للجلوكوكورتيكويدات أو اس تخدامها الطبى يثبط الجهاز المناعى لأسباب نوقشت فى قسم فسيو لوجيا الإجهاد لاحقًا فى هذا الفصل.

الأندروجينات هى الستيرويدات الجنسية الرئيسية التى تفرزها ال غدة الكظرية، لكن الغدد الكظرية تنتج أيضًا كميات صغيرة من الإستر وجين. ينظم هرمون ACTH إفراز كل من الأندروجينات الكظرية والكور تيزول. تأتى الستيرويدات الجنسية أيضًا من كل من المنطقة الحزمية والمنطقة الشبكية. الأندروجين الرئيسى هو ديهيدروإيبيندرواستيرون) DHEA( )ديهيدرو-إيبى-أن-دروس-تور-أون(. له نشاط بيو لوجى قليل بحد ذاته، لكن العديد من الأنسجة تحوله إلى أشكال أكثر فعالية مثل التستوستيرون والديهيدروتستوستيرون. يُنتج DHEA بكم يات هائلة من قبل الغدد الكظرية الكبيرة للجنين الذكر ويلعب دورًا مه مًا فى التطور السابق للولادة للجهاز التناسلى الذكرى. عند البلوغ فى كلا الجنسين، تحفز الأندروجينات نمو شعر العانة وتحت الإبط وغدد ا لعرق الأبوكرينية المرتبطة بها، كما تحفز الرغبة الجنسية)الدافع الجن سى(طوال فترة المراهقة والبلوغ. فى الرجال، تفوق كمية الأندروجينا ت التى تفرزها الخصيتان تلك التى تفرزها الغدد الكظرية.

فى النساء، مع ذلك، تلبى الغدد الكظرية حوالى 50% من احتياجات ا لأندروجين.

الإستراديول هو الإستروجين الكظرى الرئيسى. عادةً ما يكون ذا أهم ية ثانوية للنساء فى سن الإنجاب لأن كميته صغيرة مقارنة بالإستروجين المنتج من المبايض. بعد انقطاع الطمث، تتوقف المبايض عن العمل وتفرز الغدد الكظرية فقط الإستروجين. ومع ذلك، تقوم عدة أنسجة أخر ى، مثل الدهون، بتحويل الأندروجينات إلى المزيد من الإستروجين. كل من الأندروجينات والإستروجينات يعززان نمو الهيكل العظمى فى فترة ا لمراهقة ويساعدان فى الحفاظ على كتلة العظام لدى البالغين.

النخاع والقشرة ليسا مستقلين وظيفيًا كما كان يُعتقد سابقًا؛ فك ل منهما يحفز الآخر. بدون تحفيز من الكورتيزول، يضمحل النخاع الك ظرى بشكل كبير. وعلى العكس، تمتد بعض خلايا الكرومافين من النخ اع إلى القشرة. عندما ينشط الإجهاد الجهاز العصبى الودى، تحفز هذه الخلايا القشرة على إفراز الكورتيكوستيرون وربما الكورتيكوستيرويدات الأخرى.

▶▶▶ طبِّق ما تعرفه

تزداد سماكة المنطقة الحزمية)zona fasciculata(بشكل ملحو ظ فى النساء الحوامل. ما الفائدة التى تعتقد أنها تعود من هذه ا لظاهرة؟

17.3f جزر البنكرياس

البنكرياس هو غدة مستطيلة، إسفنجية، خلف الصفاق، مضغوطة بين ا لجزء السفلى من المعدة وجدار الجسم الخلفى)الشكل 17.12(. وهو ف ى الأساس غدة هضمية خارجية الإفراز، ووصف تشريحه العام موجود فى الفصل 25. ومع ذلك، تتناثر عبر النسيج الخارجى الإفراز مجموعات من 1 إلى 2 مليون خلية صماء تُسمى جزر البنكرياس)جزر لانغرهانس[21] (. وعلى الرغم من أنها تشكل أقل من 2% من نسيج البنكرياس، فإن ه ذه الجزر تفرز هرمونات ذات أهمية حيوية، خاصة فى تنظيم نسبة الس كر فى الدم، تركيز الجلوكوز فى الدم. يبلغ حجم الجزيرة النموذجية حوالى 75 × 175 ميكرومتر وتحتوى على عدد من الخلايا يتراوح من قليل إلى 3000 خلية. الأنواع الرئيسية لخلاياها هى خلايا ألفا)20%(، وخلايا بيتا) 70%(، وخلايا دلتا)5%(، وعدد قليل من خلايا PP وخلايا أخرى.

[21] بول لانغرهانس)1847–1888(، عالم التشريح الألمانى

القشرة الكظرية

تحيط القشرة الكظرية بالنخاع من جميع الجهات. تنتج أكثر من 25 هر مون ستيرويدى، تُعرف مجتمعة باسم الكورتيكوستيرويدات أو الكور تيكويدات. جميعها تُصنع من الكوليسترول؛ وهذا وغيره من الدهون يمنح القشرة اللون الأصفر.

يتم إفراز خمسة فقط من الكورتيكوستيرويدات بكميات ذات أهمية فسيولوجية؛ أما البقية فإما ضئيلة الكمية أو، إذا كانت أكثر وفرة، فهى أقل نشاطًا كيميائيًا. تنقسم أهم خمسة كورتيكوستيرويدات إلى ثلاث فئات: المينيرالوكورتيكويدات التى تنظم توازن الإلكتروليتات فى الح سم؛ الجلوكوكورتيكويدات التى تنظم أيض الجلوكوز والوقود العضوى ا لآخر؛ والستيرويدات الجنسية التى لها وظائف مختلفة فى التطور وال تكاثر.

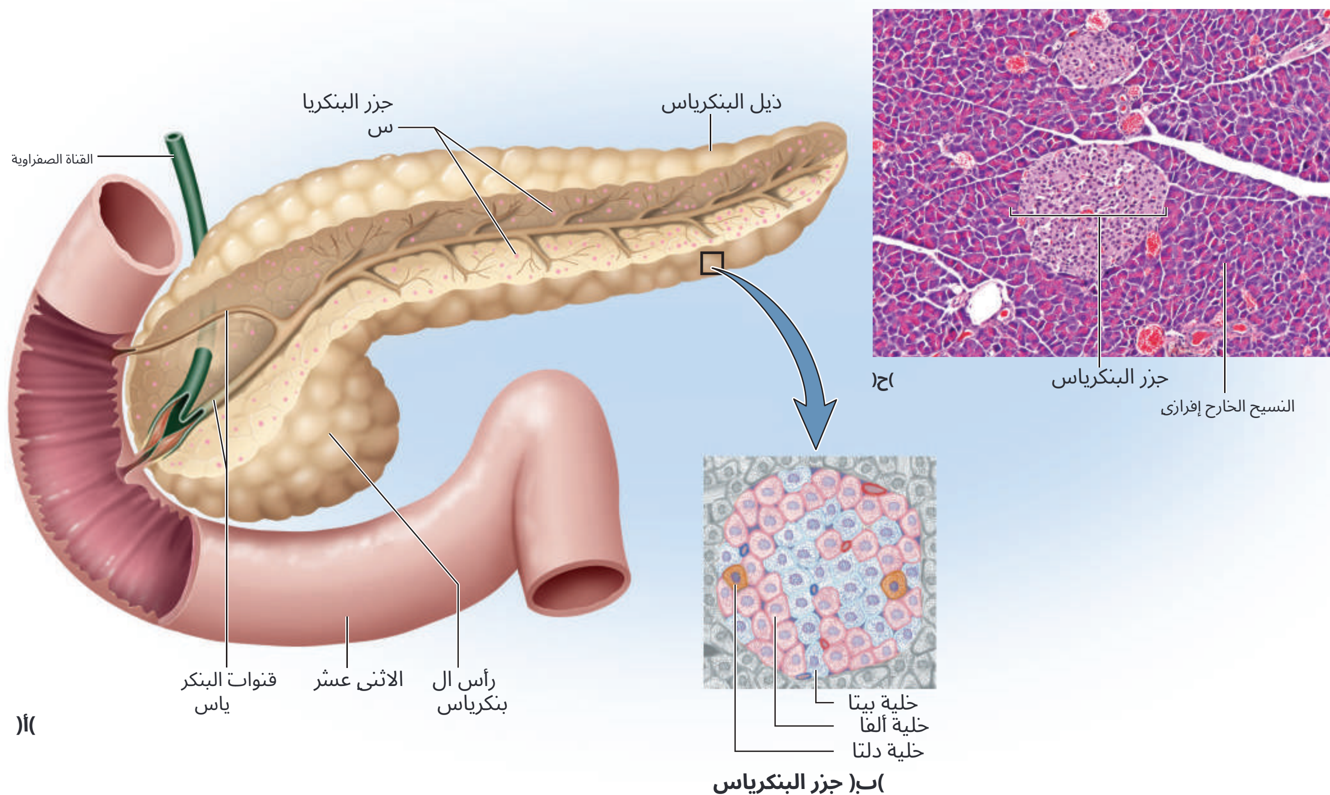
تتكون القشرة الكظرية من ثلاث طبقات نسيجية)الشكل 17.11ب(، تختلف فى تركيبها النسيجى وإنتاجها الهرمونى.

1. الطبقة زونا جلو ميرولوزا[18])glo-MER-you-LO-suh(هى ط بقة رقيقة، أقل تطورًا فى البشر مقارنة بالعديد من الثدييات ا لأخرى، وتقع مباشرة تحت الكبسولة على سطح الغدة. اسم *جلوميرولوزا*)"مليئة بالكرات الصغيرة"(يشير إلى ترتي ب خلاياها فى تجمعات دائرية. زونا جلو ميرولوزا هى مصدر الم ينيرالوكورتيكويدات.
2. الطبقة زونا فاسيكولاتا[19])fah-SIC-you-LAH-ta(هى طبقة و سطى سميكة تشكل حوالى ثلاثة أرباع القشرة. هنا تُرتب الخلايا فى حبال متوازية)حزم(، تفصل بينها شعيرات دموية، عمودية على سطح الغدة. تُسمى الخلايا *سبونجيوسايتس* بسبب مطهر ها الرغوى الناتج عن وفرة قطرات الدهون السيتوبلازمية. تفرز ز ونا فاسيكولاتا الجلوكوكورتيكويدات والأندروجينات.
3. المنطقة الشبكية)zona reticularis(هى الطبقة الضيقة والأع مق، المجاورة للنخاع الكظرى. تشكل خلاياها شبكة متفرعة سُميت الطبقة على اسمها. مثل الطبقة السابقة، تفرز المنطقة ا لشبكية أيضًا الجلوكوكورتيكويدات والأندروجينات.

الألدوستيرون هو أهم معدن كورتيكويد، وينتج فقط بواسطة الم نطقة الكبيبية)zona glomerulosa(. يؤدى انخفاض ضغط الدم إلى زيادة إفراز الألدوستيرون عبر آلية تُسمى نظام الرينين-أنجيوتنسين-أل دوستيرون)RAA(. باختصار، تستشعر مستقبلات الضغط)المستقبلا ت الباروريسبتورية(فى الشرايين الرئيسية بالقرب من القلب انخفا ض ضغط الدم وتنشط رد فعل تعاطفى. يؤدى ذلك إلى إنتاج هرمون يُسمى أنجيوتنسين II. من بين تأثيراته الأخرى، يحفز أنجيوتنسين II قشرة الغدة الكظرية على إفراز الألدوستيرون)انظر الشكل 23.15 والن ص المرتبط للتفاصيل(. يحفز الألدوستيرون الكلى على الاحتفاظ بال صوديوم. ويتم الاحتفاظ بالماء معه عن طريق الأسموز، لذا يساعد الأ لدوستيرون فى الحفاظ على حجم الدم وضغطه.

الكورتيزول)المعروف سريريًا أيضًا باسم الهيدروكورتيزون(هو أقوى جلوكو كورتيكويد، لكن الغدد الكظرية تفرز أيضًا جلوكوكورتيكويدًا أضعف يُسمى الكور تيكوستيرون. تُفرز الجلوكوكورتيكويدات بواسطة المنطقة الحزمية)zona fasci culata(والمنطقة الشبكية استجابةً لهرمون ACTH من الغدة ال نخامية. تحفز هذه الهرمونات تحلل الدهون والبروتينات، وتكوين الجلوكوز من م صادر غير كربوهيدراتية)تكوين الجلوكوز(، وإطلاق الأحماض الدهنية والجلوكوز فى الدم. يساعد ذلك الجسم على التكيف مع الإجهاد وإصلاح الأنسجة التالفة. كما أن للجلوكوكورتيكويدات تأثير مضاد للالتهابات؛ الهيدروكورتيزون

[18] *المنطقة* = zone; *الكرية* = كرات صغيرة; *مملوء ب* = full of
[19] *المنطقة* = zone; *الحزمة* = حبال صغيرة; *يمتلك* = possessing
[20] *المنطقة* = zone; *الشبكة* = شبكة صغيرة; *مثل* = like



السشكل 17.12 البنكرياس.)أ(التشريح الكلى وعلاقته بالاثنى عشر. تتركز جزر البنكرياس بشكل أكبر فى ذيل البنكرياس.)ب(خلايا جزيرة البنكرياس.)خلايا PP و G غير معروضة؛ فهى قليلة العدد ولا يمكن تمييزها بالتلوين النسيجى العادى.( )ح(صورة ضوئية لجزيرة البنكرياس وسط الأكياس الخارج إفرازية الداكنة، التى تنتج الإنزيمات الهضمية. APR

c: آل تيلسر/ماكجرو هيل

الخلايا على امتصاص الجلوكوز، الأحماض الدهنية، والأحماض الأمينية وتخزينها أو استقلابها؛ لذلك، يخفض مستوى الجلوكوز والمواد المغذية الأخرى فى الدم. يعزز تخليق الجليكوجين، الدهون، والبروتين، مما يعزز تخزين الفائض من المغذيات للاستخدام المستقبلى ويعزز نمو الخلايا وتمايزها. كما يعاكس الجلوكاجون، مما يثبط استخدام الوقود المخزن بالفعل. يمتص الدماغ، الكبد، الكلى، وخلايا الدم الحمراء الجلوكوز ويستخدمونه دون الحاجة للإنسولين، لكن الإنسولين يعزز تخليق الجليكوجين فى الكبد. نقص الإنسولين أو عدم فعاليته معروف جيدًا كسبب لمرض السكرى الذى سيتم تفصيله لاحقًا فى هذا الفصل. كما تفرز خلايا بيتا هرمونًا آخر، الأميلين، فى نفس الوقت مع الإنسولين.
يساعد الأميلين على تقليل ارتفاعات سكر الدم عن طريق إبطاء إفراغ المعدة؛ تنطيم إفراز إنزيمات المعدة، الحمض، والصفراء؛ تثبيط إفراز الجلوكاجون؛ وتحفيز الإحساس بالشبع)الشعور بالاكتفاء من الطعام(.

- خلايا دلتا)δ(، أو خلايا السوماتوستاتين، تفرز السوماتوستاتين استجابةً للجلوكوز والأحماض الأمينية. يعمل السوماتوستاتين كمنظم باراكرينى لإفراز الجلوكاجون والإنسولين من الخلايا ألفا و بيتا المجاورة.
- خلايا PP تفرز البيتيد البنكرياسى)PP(لمدة 4 أو 5 ساعات بعد الوجبة. من خلال التأثير على المستقبلات فى الدماغ، يثبط PP تحفيز البنكرياس بواسطة العصب المبهم، مما يؤدى إلى تقليل إفراز إنزيمات البنكرياس التى لم تعد ضرورية.

تستجيب خلايا الجزر مباشرة لمستويات المغذيات فى الدم المرتبطة بدورة الأكل والصيام. وظائفها كما يلى:

- خلايا ألفا)α(، أو خلايا الجلوكاجون، تفرز الجلوكاجون بين الوجبات عندما ينخفض تركيز الجلوكوز فى الدم إلى أقل من 100 ملغ/ديسيلتر. يمارس الجلوكاجون فعلين رئيسيين على الكبد:)1(تحلل الجليكوجين، وهو تفكيك الجليكوجين إلى جلوكوز؛ و)2(التكوين الجديد للجلوكوز، وهو تخليق الجلوكوز من الدهون والبروتينات)انظر الشكل 17.23(. تؤدى هذه التأثيرات إلى إطلاق الجلوكوز فى الدورة الدموية، مما يرفع مستوى الجلوكوز فى الدم. فى الأنسجة الدهنية، يحفز الجلوكاجون تحلل الدهون وإطلاق الأحماض الدهنية الحرة. كما يُفرز الجلوكاجون استجابةً لارتفاع مستويات الأحماض الأمينية فى الدم بعد وجبة غنية بالبروتين. يعزز امتصاص الأحماض الأمينية وبالتالى يوفر للخلايا المواد الخام للتكوين الجديد للجلوكوز.
- خلايا بيتا)β(، أو خلايا الإنسولين، تفرز هرمونين، الإنسولين والأميلين. الإنسولين، "هرمون وفرة المغذيات"، يُفرز أثناء وبعد الوجبة مباشرة عندما ترتفع مستويات المغذيات فى الدم؛ حتى رائحة الطعام الشهية تحفز إفراز الإنسولين توقعًا للأكل. الأوستيوكالسين والليبكالين 2، وهما هرمونان من الخلايا البانية للعظم، يحفزان تكاثر خلايا بيتا، إفراز الإنسولين، وحساسية الإنسولين فى أنسجة الجسم الأخرى. الأهداف الرئيسية للإنسولين هى الكبد، العضلات الهيكلية، والأنسجة الدهنية. فى أوقات وفرة المغذيات فى الدم، يحفز الإنسولين

تُفصّل وظائف الإستروجين والبروجستيرون في الفصل 28.باخ تصار، تساهم هذه الهرمونات في تطوير الجهاز التناسلي والهيئة الأن ثوية، وتعزز نمو العظام في مرحلة المراهقة، وتنظم الدورة الشهرية، و تحافظ على الحمل، وتُعد الغدد الثديية للرضاعة. الإنيبين، الذي يُفرز أ يضًا من الجريب والجسم الأصفر، يثبط إفراز الهرمون المنشط للجرى ب)FSH(من خلال آلية التغذية الراجعة السلبية للغدة النخامية الأمام ية.

يتكون الخصية بشكل رئيسي من أنابيب منوية دقيقة تُنتج الحيو انات المنوية. إفرازاتها الصماء هي التستوستيرون، وكميات أقل من ا لأندروجينات والهرمونات الإستروجينية الأضعف، والإنيبين. يأتي الإن يبين من خلايا الممرضة التي تشكل جدران الأنابيب المنوية. من خلا ل تحديد إفراز FSH، ينظم معدل إنتاج الحيوانات المنوية. بين الأنابي ب توجد مجموعات من الخلايا الصماء البينية، وهي مصدر التستوس تيرون والستيرويدات الجنسية الأخرى)الشكل 17.13ب(. يحفز التس توستيرون تطور الجهاز التناسلي الذكري في الجنين والمراهق، وتطور الهيئة الذكورية في مرحلة المراهقة، والدافع الجنسي.

يحافظ على إنتاج الحيوانات المنوية والغريزة الجنسية طوال حياة البال غين.

17.3هـ الوظائف الصماء للأنسجة والأعضاء الأخرى

تفرز العديد من الأنسجة والأعضاء الأخرى، بخلاف الغدد الصماء الكلا سيكية، هرمونات أو سوابق هرمونية:

- الجلد. تقوم خلايا الكيراتين في البشرة بتحويل ستيرويد شبيه بالكو ليسترول إلى كوليكالسيفيرول،(COAL-eh-cal-SIF-er-ol)

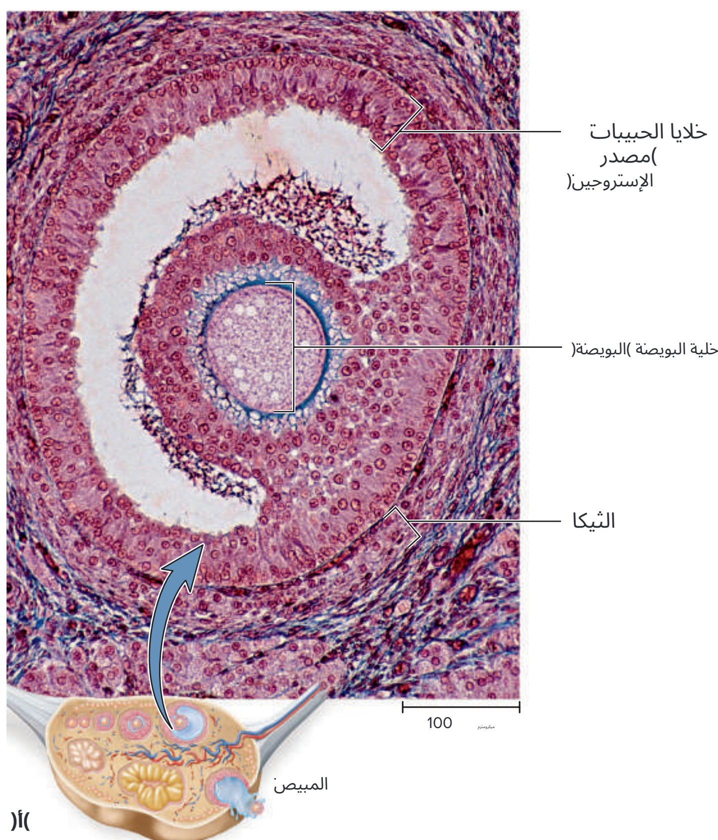
أي هرمون يرفع تركيز الجلوكوز في الدم يُسمى هرمون *مفرط ال سكر في الدم*. قد تكون لاحظت أن الجلوكاجون ليس الهرمون الوحيد ا لذي يفعل ذلك؛ فهرمون النمو، والإيبينفرين، والنورإبينفرين، والكورتيز ول، والكورتيكوستيرون تفعل ذلك أيضًا.

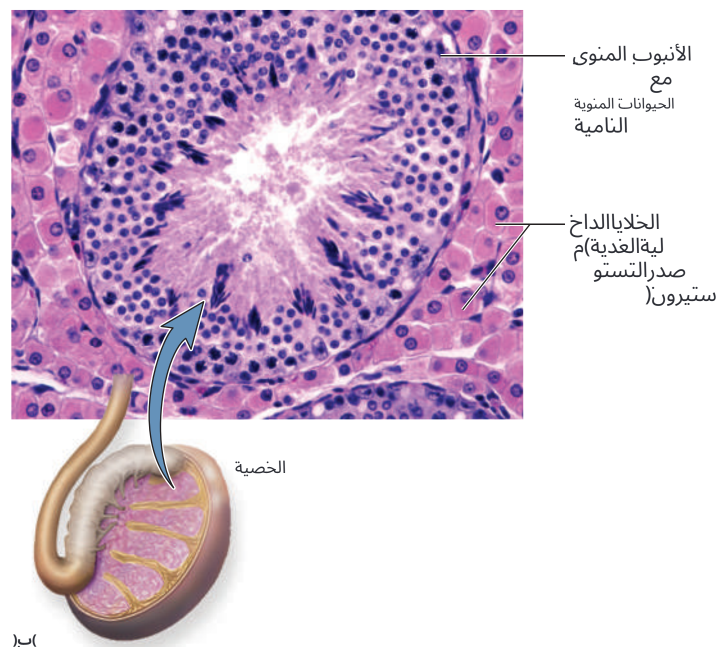
الأنسولين يُسمى هرمون *منخفض السكر في الدم* لأنه يخفض مستويات الج لوكوز في الدم.

17.3ح الغدد التناسلية

مثل البنكرياس، الغدد التناسلية)المبايض والخصيتان(تعمل كغدد صماء وخارجية الإفراز في آن واحد. منتجاتها الخارجية هي البويضات والحيوانات المنوية، ومنتجاتها الصماء هي *الهرمونات التناسلية*، ومع ظمها من الستيرويدات. تم وصف تشريحها الكلي في الفصلين 27 و 28. الغدد التناسلية تكون غير نشطة هرمونيًا في مرحلة الطفولة، ولك ن من البلوغ وحتى البلوغ الكامل يتم تنظيمها بواسطة الهرمونات الم نشطة للتناسل من الغدة النخامية الأمامية.

تفرز المبايض بشكل رئيسي الإستراديول، والبروجستيرون، والإي نهيبين. تتطور كل بويضة في جريب خاص بها، مبطن بجدار من خلايا الجرانولوزا ومحاط بكبسولة، هي الثيكا)الشكل 17.13أ(. تقوم خلايا ا لثيكا بتخليق الأندروجين الأندروستينديون، وتحول خلايا الجرانولوزا ه ذا إلى الإستراديول وكميات أقل من اثنين من الإستروجينات الأخرى، الإستريول والإسترون. في منتصف دورة المبيض الشهرية، ينضج جر يب وينفجر ليطلق البويضة)الإباضة(. تصبح بقايا الجريب الجسم الأ صفر، الذي يفرز البروجستيرون لمدة حوالي 12 يومًا في الدورة النمود جية)عدة أسابيع في حالة الحمل(.





الشكل 17.13 الغدد التناسلية.)أ(علم الأنسجة لجريب المبيض.)ب(علم الأنسجة للخصية. خلايا الحبيبات في المبيض والخلايا البينية في الخصية هي خلايا صماء. APR

أ: إد ريشكي/ستون/غيتي إيماجز؛ ب: خوسيه لويس كالفو/شترستوك

باستخدام الطاقة من إشعاع الأشعة فوق البنفسجية الشمسية. يقوم الكبد والكليتان بتحويل الكوليكالسيفيرول إلى هرمون ينظم الكالسيوم، الكالسيتريول (انظر الفقرات التالية).

- الكبد. يشارك الكبد في إنتاج ما لا يقل عن خمسة هرمونات: (1) يحول الكوليكالسيفيرول من الجلد إلى الكالسيديول، وهي الخطوة التالية في تخليق الكالسيتريول. (2) يفرز بروتينًا يسمى الأنجيوتنسينوجين، والذي تقوم الكلى والرئتان وأعضاء أخرى بتحويله إلى هرمون يسمى *الأنجيوتنسين II*، وهو منظم لضغط الدم (جزء من نظام الرينين– الأنجيوتنسين– الألدوستيرون المذكور سابقًا). (3) يفرز حوالي 15% من الإريثروبويتين (**EPO**) (إريث-رو-بو-ي-تين)، وهو هرمون يحفز نخاع العظم الأحمر على إنتاج خلايا الدم الحمراء (الإريث-روسيتات). لذلك، يعتبر الكبد مهمًا في تنظيم قدرة الدم على حمل الأكسجين. (4) يفرز عامل النمو الشبيه بالأنسولين I (IGF-I)، وهو هرمون يتوسط عمل هرمون النمو. (5) يفرز الهيبسيدين، الآلية الهرمونية الرئيسية لتنظيم توازن الحديد. يسيطر الهيبسيدين على مستوى الحديد في البلازما عن طريق تثبيط امتصاص الحديد في الأمعاء وتحريك الحديد بواسطة الكبد؛ وبذلك يمنع فرط الحديد. في حالة فقر الدم، تنخفض مستويات الهيبسيدين ويتم تحريك المزيد من الحديد لدعم تخليق الهيموغلوبين. في الحالات الالتهابية، ترتفع مستويات الهيبسيدين، مما يقلل من مستوى الحديد الحر المتاح للكائنات الدقيقة المسببة للعدوى التي تحتاجه لتكاثرها.

- الكليتان. تلعب الكليتان دورًا صماويًا في إنتاج ثلاثة هرمونات—الكالسيتريول، الأنجيوتنسين II، والإريثروبويتين. (1) تقوم بتحويل الكالسيديول إلى الكالسيتريول (فيتامين د3)، مكملة بذلك العملية ذات الخطوات الثلاث التي بدأت في الجلد والكبد. يرفع الكالسيتريول تركيز الكالسيوم في الدم عن طريق تعزيز امتصاصه في الأمعاء وتقليل فقدانه قليلاً في البول. وهذا يجعل المزيد من الكالسيوم متاحًا لترسيب العظام واستخدامات أخرى. (2) تفرز إنزيمًا يسمى الرينين (رينين)، الذي يحول الأنجيوتنسينوجين إلى الأنجيوتنسين I. أثناء دوران الأنجيوتنسين I عبر الأعضاء المختلفة، وخاصة الرئتين، *إنزيم تحويل الأنجيوتنسين (ACE)* على بطانة الشعيرات الدموية يحوله إلى الأنجيوتنسين II، وهو ببتيد صغير. هذا هرمون قوي جدًا يضيّق الأوعية الدموية في جميع أنحاء الجسم وبالتالي يرفع ضغط الدم. (3) تفرز الكليتان حوالي 85% من الإريثروبويتين في الجسم. ولهذا السبب، يؤدي فشل الكلى إلى فقر الدم بسبب انخفاض إنتاج EPO من الكليتين الفاشلتين.

- القلب. يؤدي ارتفاع ضغط الدم إلى تمدد القلب وتحفيز عضلة القلب في الأذينين على إفراز ببتيدين مشابهين للببتيدات المدرّة للصوديوم.[22] تزيد هذه الهرمونات من إفراز الصوديوم والإدرار وتعارض عمل الأنجيوتنسين II، كما ذُكر للتو. معًا، تؤدي هذه التأثيرات إلى خفض حجم الدم وضغطه.

- العضلات الهيكلية. تفرز العضلات عائلة من الهرمونات تُسمى الميوكينات.[23] تعمل هذه على الكبد والأنسجة الدهنية لتحفيز تحرر الوقود عالي الطاقة من خلال تحفيز تحلل الدهون (الليبوليز) وتكوين الجلوكوز (تكوين الجلوكوز الجديد).

- المعدة والأمعاء. أكبر شبكة صماء على الإطلاق توجد في المعدة والأمعاء. تحتوي هذه على أكثر من 15 نوعًا من *الخلايا المعوية الصماء*،[24] والتي تشكل حوالي 1% من جميع الخلايا الظهارية في الجهاز الهضمي. تُسمى هرموناتها مجتمعة الهرمونات المعوية. تنسق هذه الهرمونات بين مناطق وغدد الجهاز الهضمي المختلفة وتؤثر على التغذية والهضم وحركة الجهاز الهضمي والإفراز، وصيانة الغشاء المخاطي. بعض هذه الهرمونات تُسمى ببتيدات الأمعاء-الدماغ لأنها تنشأ في الجهاز الهضمي لكنها تحفز الدماغ. ببتيد YY (PYY)، يُفرز من الأمعاء الدقيقة والغليظة، ويشير إلى الشبع (الامتلاء) ويميل إلى إنهاء الأكل. الكوليسيستوكينين (**CCK**)[25] (كو-لي-سيس-تو-كي-نين)، يُفرز من الأمعاء الدقيقة استجابة للدهون، يحفز المرارة على إفراز الصفراء وله تأثير مثبط للشهية على الدماغ. الغريلين، كما ذُكر في الملاحظات السابقة عن هرمون النمو، يُفرز عندما تكون المعدة فارغة؛ يحفز الشهية وإفراز هرمون إفراز هرمون النمو (GHRH) وبالتالي، بشكل غير مباشر، هرمون النمو نفسه. الجاسترين[26] يُفرز من المعدة عند وصول الطعام ويحفز خلايا المعدة الأخرى على إفراز حمض الهيدروكلوريك. تُناقش ببتيدات الأمعاء-الدماغ والتنظيم الصمائي للجوع بشكل أوسع في الفصل 26.

- الأنسجة الدهنية (الدهون). تفرز خلايا الدهون على الأقل ثلاثة هرمونات تنظم أيض الكربوهيدرات والدهون. أشهرها اللبتين، الذي له تأثيرات طويلة الأمد على مراكز تنظيم الشهية في الوطاء. انخفاض مستوى اللبتين، مما يدل على نقص في الدهون الجسمية، يزيد الشهية وتناول الطعام، في حين أن ارتفاع مستوى اللبتين يميل إلى تقليل الشهية. كما يعمل اللبتين كإشارة لبدء البلوغ، الذي يتأخر عند الأشخاص الذين يعانون من نقص غير طبيعي في الدهون الجسمية. يُناقش اللبتين مع هرمونات معوية أخرى في النقاش السابق عن الشهية.

- الأنسجة العظمية (العظم). تفرز الخلايا البانية للعظم هرموني الأوستيوكالسين و الليبوكالين 2. يحفز كلا الهرمونين خلايا بيتا البنكرياسية ويعززان إفراز الأنسولين وعمله. لذلك تلعب الأنسجة العظمية دورًا مهمًا في أيض الجلوكوز وتنظيم مستويات الجلوكوز في الدم.

- المشيمة. تقوم هذه العضو بالعديد من الوظائف أثناء الحمل، بما في ذلك تغذية الجنين، وتزويده بالأكسجين، وإزالة الفضلات. لكنها أيضًا تفرز الإستروجين، والبروجسترون، وهرمونات أخرى تنظم الحمل وتحفز نمو الجنين وغدد الثدي لدى الأم.

يمكنك أن ترى أن الجهاز الصماء واسع النطاق. يشمل العديد من الغدد المنفصلة بالإضافة إلى خلايا فردية في أنسجة أعضاء أخرى. تستعرض الأعضاء والأنسجة الصماء بخلاف الوطاء والغدة النخامية في الجدول 17.4.

[22] *ناتري* = الصوديوم؛ *يوريتك* = متعلق بالبول
[23] *مايو* = العضلة؛ *كين* = الحركة

[24] *entero* = الأمعاء
[25] *chole* = الصفراء؛ *cysto* = الكيس (المرارة)؛ *kin* = الحركة، الفعل
[26] *gastr* = المعدة

الجدول 17.4 الهرمونات من مصادر غير الوطاء والغدة النخامية

المصدر	الهرمون	الأعضاء والأنسجة المستهدفة	التأثيرات الرئيسية
الغدة الصنوبرية	الميلاتونين	الدماغ	غير مؤكد؛ قد يؤثر على المزاج والنضج الجنسي
الغدة الزعترية (الغدة التيموسية)	الثيموبويتين، الثيموسين، الثيمولين	خلايا المناعة (الخلايا اللمفاوية التائية)	تحفيز تطور ونشاط الخلايا اللمفاوية التائية
الغدة الدرقية	الثيروكسين (T_4) و ثلاثي يودوثيرونين (T_3)	معظم الأنسجة	رفع معدل الأيض وإنتاج الحرارة؛ زيادة معدل التنفس، معدل ضربات القلب، وقوة نبض القلب؛ تحفيز الشهية وتسريع تحلل المغذيات؛ تعزيز اليقظة وتسريع ردود الفعل؛ تحفيز إفراز هرمون النمو ونمو الجلد، الشعر، الأظافر، الأسنان، وجهاز الأعصاب الجنيني
	الكالسيتونين	العظام	يحرض ترسيب العظام، خاصة عند الأطفال
الغدد الجار درقية	هرمون الغدة الجار درقية (PTH)	العظام، الكلى، الأمعاء الدقيقة	يرفع مستوى الكالسيوم في الدم Ca^{2+} عن طريق تحفيز امتصاص العظام ومنع الترسيب، وتقليل إفراز الكالسيوم Ca^{2+} في البول، وتعزيز تخليق الكالسيتريول
نخاع الغدة الكظرية	الأدرينالين، النورأدرينالين، الدوبامين	معظم الأنسجة	تعزيز اليقظة؛ تعبئة الوقود العضوي؛ رفع معدل الأيض؛ تحفيز الدورة الدموية والتنفس؛ زيادة مستوى الجلوكوز في الدم؛ تثبيط إفراز الأنسولين واستهلاك الجلوكوز من قبل الأعضاء المعتمدة على الأنسولين (توفير الجلوكوز للدماغ)
القشرة الكظرية	الألدوستيرون	الكلى	يعزز احتباس Na^{+} والماء وإفراز K^{+}؛ يحافظ على ضغط الدم وحجمه
	الكورتيزول و الكورتيكوستيرون	معظم الأنسجة	تحفيز تحلل الدهون والبروتينات، تكوين الجلوكوز الجديد، مقاومة الإجهاد، وترميم الأنسجة
	ديهيدروإيباندروستيرون	العظام، العضلات، الجلد، الدماغ، العديد من الأنسجة الأخرى	مقدمة للتستوستيرون؛ يعزز بشكل غير مباشر نمو العظام، شعر العانة وتحت الإبط، الغدد الأبوكرينية، والمسالك التناسلية الذكرية الجنينية؛ يحرض الرغبة الجنسية
جزر البنكرياس	الجلوكاجون	الكبد بشكل رئيسي	يحفز امتصاص الأحماض الأمينية، وتكوين الجلوكوز الجديد (gluconeogenesis)، وتحليل الجليكوجين والدهون؛ يرفع مستويات الجلوكوز والأحماض الدهنية في الدم
	الأنسولين	معظم الأنسجة	يحفز امتصاص الجلوكوز والأحماض الأمينية؛ يخفض مستوى الجلوكوز في الدم؛ يعزز تخليق الجليكوجين والدهون والبروتين
	السوماتوستاتين	المعدة، الأمعاء، خلايا جزر البنكرياس	ينظم الهضم وامتصاص المغذيات وإفراز الجلوكاجون والأنسولين
	الجاسترين	المعدة	يحفز إفراز الحمض وحركة المعدة
المبايض	الإستراديول	العديد من الأنسجة	يحفز تطور الجهاز التناسلي الأنثوي والنمو في سن المراهقة؛ ينظم دورة الحيض والحمل؛ يُعد الغدد الثديية للرضاعة
	البروجستيرون	الرحم، الغدد الثديية	ينظم دورة الحيض والحمل؛ يُعد الغدد الثديية للرضاعة
	الإينهيبين	الغدة النخامية الأمامية	يمنع إفراز الهرمون المنبه للجريب (FSH)
الخصيتان	التستوستيرون	العديد من الأنسجة	يحفز التطور التناسلي الجنيني والمراهق، نمو الجهاز العضلي الهيكلي، إنتاج الحيوانات المنوية، والرغبة الجنسية
	الإينهيبين	الغدة النخامية الأمامية	يمنع إفراز الهرمون المنبه للجريب (FSH)
الجلد	كوليكالسيفيرول	—	سابق للكالسيترول (انظر الكلى)

(مستمر)

المصدر	الهرمون	الأعضاء والأنسجة المستهدفة	التأثيرات الرئيسية
الجدول 17.4 الهرمونات من مصادر أخرى غير الوطاء والغدة النخامية(تابع)			
الكبد	كالسيديول	—	سابق للكالسيترول)انظر الكلى(
	أنجيوتنسينوجين	—	مقدمة لأنجيوتنسين II)انظر الكلى(
	إريثروبويتين	نخاع العظم الأحمر	يعزز إنتاج خلايا الدم الحمراء، يزيد من قدرة الدم على حمل الأكسجين
	هيبسيدين	الأمعاء الدقيقة، الكبد	ينظم مستوى الحديد في البلازما
	عامل النمو الشبيه بالأنسولين الأول	العديد من الأنسجة	يُطيل ويُوسط عمل هرمون النمو
الكلى	أنجيوتنسين I	—	مقدمة لأنجيوتنسين II، وهو موسع للأوعية الدموية
	كالسيترول	الأمعاء الدقيقة	يزيد من مستوى الكالسيوم في الدم بشكل رئيسي عن طريق تعزيز امتصاص الكالسيوم Ca^{2+} في الأمعاء
	إريثروبويتين	نخاع العظم الأحمر	يعزز إنتاج خلايا الدم الحمراء، يزيد من قدرة الدم على حمل الأكسجين
القلب	الببتيدات المدرّة للصوديوم	الكلى	تخفض حجم الدم والضغط عن طريق تعزيز فقدان Na^{+} و الماء
العضلات الهيكلية	الميوكينات	الكبد، نسيج الدهون	يحفز تخليق الجلوكوز)تكوين الجلوكوز(وتحليل الدهون)تحلل الدهون(لتحرير الوقود
المعدة والأمعاء الدقيقة	كوليسيستوكينين	المرارة، الدماغ	إفراز الصفراء؛ كبح الشهية
	الجاسترين	المعدة	يحفز إفراز الحمض
	غريلين	الدماغ	يحفز الجوع، يبدأ التغذية
	ببتيد واي واي	الدماغ	ينتج شعور الشبع، ويوقف التغذية
	هرمونات معوية أخرى	المعدة، الأمعاء	تنسيق الإفراز والحركة في مناطق مختلفة من الجهاز الهضمي
الأنسجة الدهنية	اللبتين	الدماغ	يحد من الشهية على المدى الطويل
الأنسجة العظمية	أوستيوكالسين	البنكرياس، الأنسجة الدهنية	يحفز خلايا بيتا البنكرياسية على التكاثر، يزيد من إفراز الأنسولين، يعزز حساسية الأنسولين في الأنسجة المختلفة، ويقلل من ترسيب الدهون
المشيمة	الإستروجين، البروجستيرون	العديد من أنسجة الأم والجنين	تحفز نمو الجنين وتكيفات جسم الأم مع الحمل؛ تهيئ الغدد الثديية للرضاعة

15. عرف الهرمون منخفض السكر في الدم و الهرمون مرتفع السكر في الدم واذكر مثالاً لكل منهما.

16. ما الفرق بين هرمون الغدد التناسلية وهرمون منشط الغدد التناسلية؟

17.4 الهرمونات وأفعالها

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمالك لهذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. تحديد الفئات الكيميائية التي تنتمي إليها الهرمونات المختلفة؛

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

11. حدد ثلاث غدد صماء تكون أكبر أو أكثر وظيفية في الرضع أو الأطفال مقارنة بالبالغين. ما المصطلح المستخدم لانكماش الغدة مع التقدم في العمر؟

12. لماذا يرفع هرمون الغدة الدرقية درجة حرارة الجسم؟

13. اذكر اسم جلوكوكورتيكويد، وميلرالوكورتيكويد، وكاتيكولامين يُفرزها الغدة الكظرية. ما هي أفعالها الفسيولوجية؟

14. هل يشبه تأثير الجلوكوكورتيكويدات تأثير الجلوكاجون أم الأنسولين أكثر؟ اشرح.

التصنيف الكيميائي للهرمونات	الجدول 17.5
أحاديات الأمين	**الستيرويدات ومشتقات الستيرويد**
دوبامين	الألدوستيرون
إبينفرين	الأندروجينات
الميلاتونين	كالسيتريول
نورإبينفرين	كورتيكوستيرون
هرمون الغدة الدرقية	كورتيزول
	الإستروجينات
	البروجستيرون
أوليغوبتيدات (3–10 أحماض أمينية)	
هرمون مطلق الغونادوتروبين	أنجيوتنسين II
الأوكسيتوسين	هرمون مضاد الإدرار
هرمون مطلق الثيروتروبين	كوليسيستوكينين
ببتيدات (أكثر من 10 أحماض أمينية)	
الأنسولين	هرمون قشر الكظرية المنبه
اللبتين	الكالسيتونين
الببتيدات المدرّة للصوديوم	هرمون مطلق الكورتيكوتروبين
البوليببتيد البنكرياسي	الجاسترين
هرمون الغدة الجار درقية	غريلين
البرولاكتين	الجلوكاجون
السوماتوستاتين	هرمون النمو
هرمونات الغدة الزعترية	هرمون إطلاق هرمون النمو
	هيبسيدين
الجليكوبروتينات (مركبات البروتين والكربوهيدرات)	
الهرمون الملوتن	إريثروبويتين
الهرمون المنشط للغدة الدرقية	الهرمون المنشط للحويصلة
	الإينهيبين

17.4ب تخليق الهرمونات

جميع الهرمونات تُصنع إما من الكوليسترول أو الأحماض الأمينية، مع إضافة الكربوهيدرات في حالة الجليكوبروتينات.

الستيرويدات

تُصنع الهرمونات الستيرويدية من الكوليسترول وتختلف بشكل رئيسي في المجموعات الوظيفية المرتبطة بالهيكل الأساسي للستيرويد المكون من أربع حلقات. الشكل 17.15 يُظهر مسار التخليق لعدة هرمونات ستيرويدية. لاحظ أنه بينما يُعتبر الإستروجين والبروجستيرون عادةً "هرمونات أنثوية" والتستوستيرون "هرمونًا ذكريًا"، فإن هذه الستيرويدات الجنسية مترابطة في تخليقها ولها أدوار في جميع الأشخاص بغض النظر عن الجنس.

ب. وصف كيفية تخليق الهرمونات ونقلها إلى الأعضاء المستهدفة؛

ج. وصف كيف تحفز الهرمونات خلاياها المستهدفة؛

د. شرح كيف تنظم الخلايا المستهدفة حساسيتها للهرمونات المتداولة؛

هـ. وصف كيف تؤثر الهرمونات على بعضها البعض عندما تحفز اثنتان أو أكثر منها نفس الخلايا المستهدفة؛ و

و. مناقشة كيف يتم إزالة الهرمونات من الدورة الدموية بعد أن تؤدي أدوارها.

بعد أن استعرضنا الهرمونات الرئيسية في الجسم وتأثيراتها، وضعنا قائمة بالشخصيات في قصة الغدد الصماء، لكن تبقى لدينا بعض الأسئلة الأعمق: ما هو الهرمون بالضبط؟ كيف تُصنع الهرمونات وتُنقل إلى وجهاتها؟ كيف يُحدث الهرمون تأثيره على العضو المستهدف؟ لذلك، سنتناول الآن علم الغدد الصماء على المستويات الجزيئية والخلوية.

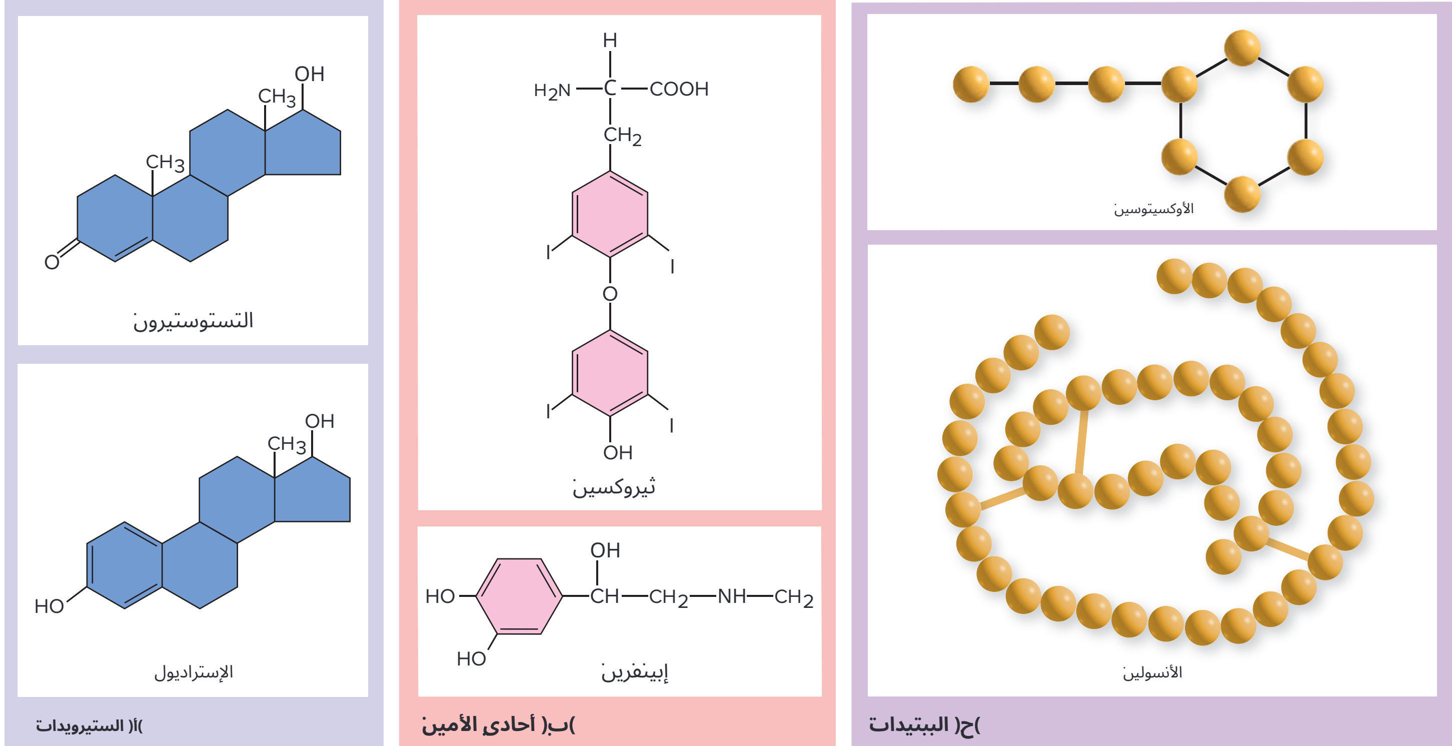
17.4أ كيمياء الهرمونات

ما هي الهرمونات بالضبط من الناحية الكيميائية؟ مم تتكون؟ تقع معظم الهرمونات ضمن ثلاث فئات: الستيرويدات، الأمينات الأحادية، *والببتيدات* (الجدول 17.5، الشكل 17.14).

1. الهرمونات الستيرويدية مشتقة من الكوليسترول. وتشمل الستيرويدات الجنسية التي تنتجها الخصيتان والمبايض (مثل الإستروجينات، البروجستيرون، والتستوستيرون) والستيرويدات الكظرية التي تنتجها الغدة الكظرية (مثل الكورتيزول، الألدوستيرون، وDHEA). الغدد التناسلية وقشرة الغدة الكظرية هي المواقع الوحيدة لتخليق الهرمونات الستيرويدية. الكالسيتريول، الهرمون المنظم للكالسيوم، ليس ستيرويدًا لكنه مشتق من واحد وله نفس الطابع الكاره للماء وطريقة العمل كالستيرويدات، لذا يُصنف عادةً معها.

2. الأمينات الأحادية (الأمينات البيولوجية) تم تقديمها في الفصل 12، حيث تشمل هذه الفئة أيضًا عدة نواقل عصبية (انظر الشكل 12.22). تشمل هرمونات الأمينات الأحادية الدوبامين، الإبينفرين، النورإبينفرين، الميلاتونين، وهرمون الغدة الدرقية. الثلاثة الأولى تُسمى أيضًا *الكاتيكولامينات*. تُصنع الأمينات الأحادية من الأحماض الأمينية وتحتفظ بمجموعة أمينية، والتي منها تستمد هذه الفئة اسمها.

3. هرمونات الببتيد هي سلاسل تتكون من 3 إلى 200 حمض أميني أو أكثر. هرمونان الغدة النخامية الخلفية، الأوكسيتوسين والهرمون المضاد للبول، هما ببتيدات قصيرة متشابهة تتكون من تسعة أحماض أمينية فقط. واحد من أشهر هرمونات الببتيد الكبيرة (البروتينات) هو الإنسولين. باستثناء الدوبامين، فإن الهرمونات المحررة والمثبطة التي تنتجها تحت المهاد هي بولي ببتيدات. معظم هرمونات الغدة النخامية الأمامية هي بولي ببتيدات أو جليكوبروتينات—وهي بولي ببتيدات مرتبطة بسلاسل كربوهيدرات قصيرة. عادةً ما تحتوي هرمونات الجليكوبروتين على سلسلة ألفا متطابقة مكونة من 92 حمضًا أمينيًا وسلسلة بيتا متغيرة تميزها عن بعضها البعض.



الشكل 17.14 الفئات الكيميائية للهرمونات.)أ(هرمونان ستيرويديان، يعرفان بحلقاتهما الرباعية المشتقة من الكوليسترول.)ب(هرمونان أحادى الأمين، مشتقان من الأحماض الأمينية ويعرفان بمجموعتي —NH— أو —NH_2)الأمين(.)ح(هرمون ببتيدى صغير، الأوكسيتوسين، وهرمون بروتينى، الإنسول ين، يعرفان بسلاسل الأحماض الأمينية)الدوائر الصفراء(.

1 تبدأ خلايا جُريب الغدة الدرقية العملية بتخليق بروتين كبير يُسمى الثيروجلوبولين)Tg(. يحتوى كل Tg على 123 من التيروزينات بين أحماضه الأمينية، لكن يتم استخدام 4 إلى 8 فقط منها لصنع هرمون الغدة الدرقية. تقوم الخلايا بإفراز الثيروجلوبولين عن طريق ا لإخراج الخلوى من أسطحها القمية إلى التجويف.

2 فى هذه الأثناء، تقوم خلايا الجريب أيضًا بامتصاص أيونات اليود يد)I^- (من دم الشعيرات الدموية القريبة. على السطح القمى للخ لايا، المواجه لتجويف الجريب، تقوم بأكسدة I^- إلى شكل تفاعلى من اليود ممثل بـ *I فى الشكل.

3 إنزيم على سطح الخلية يضيف *I إلى بعض التيروزينات. بعض التيروزينات تستقبل يودًا واحدًا وتصبح *مونويودوتيروز ين)MIT(*)MON-oh-eye-OH-do-TY-ro-seen(؛ وبع ضها يستقبل اثنين وتصبح *ديوودوتيروزين)DIT(*)الشكل 17. 17ب(. حيث يطوى Tg نفسه ويلتقى تيروزينان مؤيدان باليود، أو حيث يلتقى تيروزين مع آخر على Tg مجاور، ترتبط التير وزينات ببعضها من خلال مجموعاتها الجانبية. إذا ارتبط MIT م ع DIT، فإنهما يشكلان مركبًا بثلاث ذرات يود، مخصصًا ليصبح شكل T_3من هرمون الغدة الدرقية؛ وإذا اتحد DITان، فإنهما يش كلان السلف لشكل T_4 مع أربع ذرات يود. ثم ينفصل تيروزين وا حد عن Tg الخاص به، لكن فى الوقت الحالى، يبقى الهرمون مرتبطًا بـ Tg من خلال تيروزينه الآخر. يتم تخزين Tg فى الجري بات حتى تتلقى الغدة الدرقية إشارة لإطلاقه. إنه المادة ذات ال لون الوردى فى الشكل 17.9ب.

4 عندما تستقبل خلايا الجريب هرمون تحفيز الغدة الدرقية)TSH(من الغدة النخامية الأمامية، فإنها تمتص قطرات من Tg عن طريق

الببتيدات

يتم تخليق هرمونات الببتيد بنفس طريقة تخليق أى بروتين آخر. يتم نسخ الجين الخاص بالهرمون لتشكيل جزىء من mRNA، وتقوم الرى بوسومات بترجمة mRNA وتجميع الأحماض الأمينية بالترتيب الصح يح لصنع الببتيد. بعد تجميع تسلسل الأحماض الأمينية الأساسى، قد يقوم الشبكة الإندوبلازمية الخشنة وجهاز جولجى بتعديل الببتيد بشك ل إضافى لتشكيل الهرمون الناضج. على سبيل المثال، يبدأ الإنسولي ن كسلسلة واحدة من الأحماض الأمينية تُسمى *البروإنسولين*. يتم إزا لة جزء وسطى يُسمى الببتيد الرابط لتحويل البروإنسولين إلى الإنسول ين، الذى يتكون الآن من سلسلتين بولى ببتيديتين مرتبطتين ببعضه ما البعض بواسطة جسور ثنائية الكبريت)الشكل 17.16(.

▶▶▶ طَبِّق ما تعرفه

أثناء تخليق هرمونات الجليكوبروتين، أين فى الخلية يتم إضافة ا لكربوهيدرات؟)تلميح: انظر داخل القسم 4.2(.

أحاديات الأمين

يتم تخليق الميلاتونين من الحمص الأمينى التربتوفان وجميع أحادى الأ مين الأخرى من الحمص الأمينى التيروزين. هرمون الغدة الدرقية)TH(غير عادى لأنه يتكون من *اثنين* من التيروزين، وهو العملية الوحيدة فى جسم الإنسان التى تستخدم اليود؛ نقص اليود الغذائى يسبب اضطراب الغدة الدرقية المسمى *الدراق*)انظر الشكل 17.26(. الشكل 17.17 يوضح خطوات تخليق هرمون الغدة الدرقية.

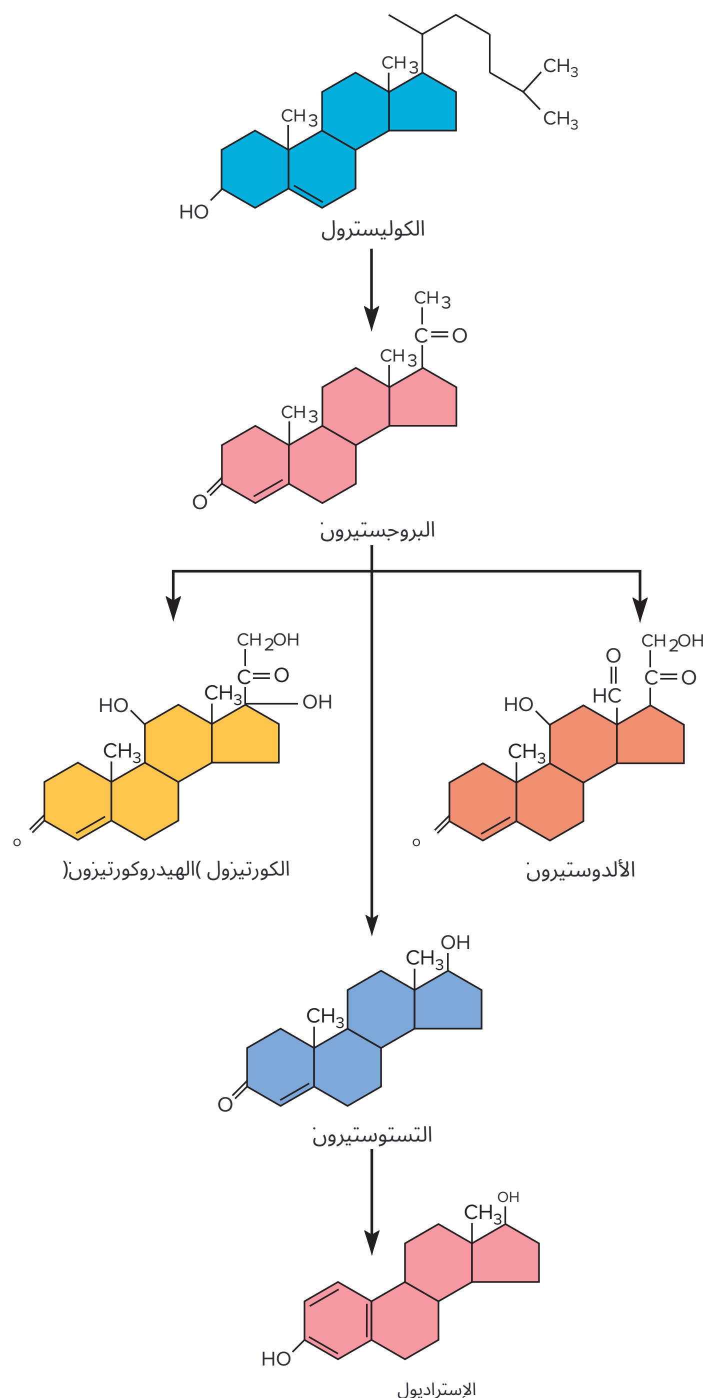


الشكل 17.16 تخليق الأنسولين، وهو هرمون بولى ببتيدى نموذجى. يحتوى البروأنسولين على ببتيد رابط)C(طوله 31 حمضًا أمينيًا، يتم إزالته ليترك الأنسولين. يحتوى الأنسولين على سلسلتين بولى ببتيديتين، طوله ما 30 و21 حمضًا أمينيًا، مرتبطتين بجسرين ثنائى الكبريتيد)—S—S—(م مثلين بالأشرطة الصفراء. جسر ثنائى كبريتيد ثالث يُشكل حلقة فى ال سلسلة القصيرة.

17.4c إفراز الهرمونات

لا تُفرز الهرمونات بمعدلات ثابتة، ولا تحافظ على مستويات ثابتة فى مجرى الدم طوال اليوم. بل تُفرز فى بعض الحالات وفق إيقاع يومى)إ يقاع الساعة البيولوجية(، وفى حالات أخرى وفق إيقاع شهرى)فى دور ة المبيض لدى المرأة(، أو تحت تأثير محفزات تدل على الحاجة إليها. وهذه المحفزات تنقسم إلى ثلاثة أنواع.

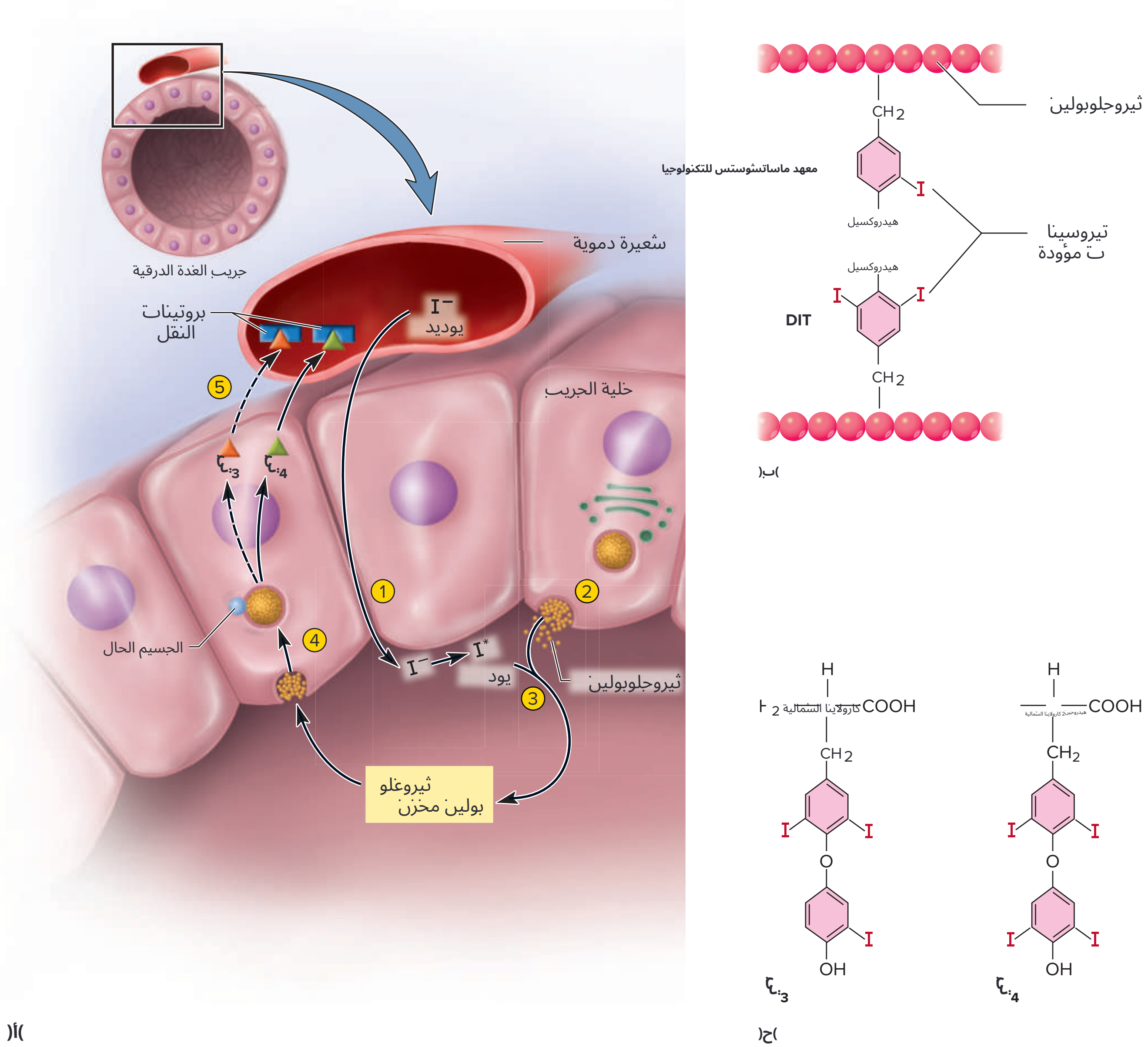
1. المحفزات العصبية. تقوم الألياف العصبية بتزويد بعض الغد د الصماء وتثير إفراز هرموناتها. على سبيل المثال، يحفز ا لجهاز العصبى الودى النخاع الكظرى لإفراز الأدرينالين والنورأدر ينالين فى حالات التوتر.
فى الولادة، تنشأ الإشارات العصبية من مستقبلات التمدد فى الرحم، وتسافر صعودًا عبر الحبل الشوكى وجذع الدماغ إلى الوطاء، وتحفز إفراز الأوكسيتوسين.
2. المحفزات الهرمونية. تنظم الهرمونات الصادرة من الوطاء إفراز الغدة النخامية الأمامية، وتحفز هرمونات النخامية غددًا صماء أخرى لإفراز هرمون الغدة الدرقية، والهرمونات الجنسية، والكور تيزول.
3. المحفزات الدموية. تشير إلى المحفزات المحمولة فى الدم. على سبيل المثال، ارتفاع تركيز الجلوكوز فى الدم يحفز إفراز الأنسولين، وانخفاض الأسمولارية الدموية يحفز إفراز الألدوستيرون، وانخفاض مستوى الكالسيوم فى الدم يحفز إفراز هرمون الغدة الجار درقية.



الشكل 17.15 تخليق الهرمونات الستيرويدية من الكوليسترول. تفرز المبايض البروجسترون والإستراديول، ويفرز قشرة الغدة الكظرية الكورتيزو ل والألدوستيرون، وتفرز الخصيتان التستوستيرون.

الابتلاع الخلوى. داخل الخلايا، يساهم الليزوزوم بإنزيم يقوم بتحليل سلسلة Tg، محررًا هرمون الغدة الدرقية)TH(.

5 يُفرَز هرمون الغدة الدرقية من الجانب القاعدى لخلايا الجريب إلى الشعيرات الدموية المجاورة. فى الدم، يرتبط بعدة بروتى نات ناقلة تحملها إلى خلايا الهدف. الهرمون المُفرَز هو حوالى 10 T 3% و90% T4)الشكل 17.17c(؛ وسيتم مناقشة الأدوار ا لخاصة بـ T3 وT4 قريبًا.



السكل 17.17 تصنيع وإفراز هرمون الغدة الدرقية.)أ(تصنيع هرمون الغدة الدرقية بالنسبة إلى جريب الغدة الدرقية. انطر النص لشرح الخطوات المرقمة. (بـ(اجتماع MIT وDIT ينتج شكل 3Tمن هرمون الغدة الدرقية، مع ثلاث ذرات يود. إذا كان كلاهما DIT، سينتج شكل 4T مع أربع ذرات يود.)ح(الشكلان الناضجان لهرمون الغدة الدرقية، ثلاثي يودوثيرونين)3T(وتيترايودوثيرونين)4T(

ينتظر محفزًا للإفراز. لا يتم تخزينه في الخلايا الصماء، بل في الفراغات خارج الخلوية المحاطة بجريبات الغدة الدرقية. حتى وصول المحفز)T SH(لإفرازه، يكون مرتبطًا بالبروتين الثيروجلوبو لين ولا يمكنه الهروب. وبالتالي، تستطيع الغدة الدرقية تخزين كمية كبيرة من الهرمون، تكفي لتلبية حاجة الجسم لعدة أشهر حتى لو توق ف تصنيع هرمون الغدة الدرقية.

17.4د نقل الهرمون

لكي ينتقل الهرمون من خلية صماء إلى خلية مستهدفة، يسافر في الد م، الذي يتكون في الغالب من الماء. معظم أحادي الأمين والببتيدات محبة للماء، لذا لا مشكلة في اختلاطها ببلازما الدم. أما الستيرويدات وهرمون الغدة الدرقية،

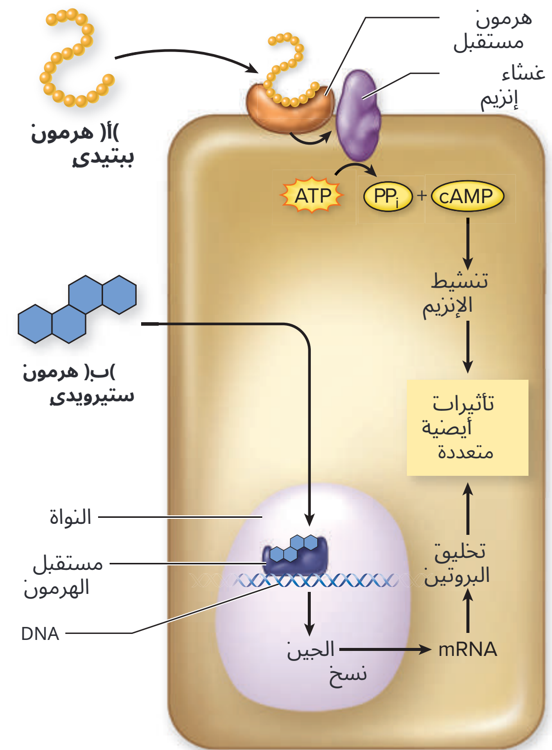
الهرمونات الببتيدية مثل هرمون النمو والأوكسيتوسين، والكاتيكولامينات مثل الأدرينالين والدوبامين، تُخزن في الحويصلات الإفرازية للخلية الصماء حتى الحاجة إليها، وتُفرز عن طريق الإخراج الخلوي عندما تتلقى الخلية محفزًا لذلك.
أما الهرمونات الستيرويدية مثل الإستروجين والكورتيزول، فلا تُخزن في الحويصلات ولا تُفرز عن طريق الإخراج الخلوي. لا تتراكم داخل الخلية الصماء، بل تُفرز بسرعة بمعدل تصنيعها عن طريق الانتشار عبر سطح الخلية. لكن هذا لا يعني أنها تُفرز بمعدل ثابت، ساعة بساعة ويومًا بيوم. المحفزات مثل FSH وACTH يمكن أن تزيد من تصنيع وإفراز هرمون الستيرويد بمقدار عدة أضعاف خلال ساعات.
هرمون الغدة الدرقية)TH(ينتشر أيضًا بحرية عبر أغشية البلازما، ولك ن على عكس الستيرويدات، فإنه يتراكم في الغدة

تشبه تفاعلات المستقبل-الهرمون تفاعلات الإنزيم-الركيزة المو ضحة فى الفصل 2. على عكس الإنزيمات، لا تغير المستقبلات كيميا ئيًا روابطها، لكنها تظهر خصوصية وتشبعًا شبيهين بالإنزيمات. الخص وصية تعنى أن مستقبل هرمون معين لن يرتبط بهرمونات أخرى. ال تشبع هو الحالة التى تكون فيها جميع جزيئات المستقبل مشغولة بجز يئات الهرمون. إضافة المزيد من الهرمون لا يمكن أن ينتج تأثيرًا أكبر.

تنقسم الهرمونات إلى فئتين رئيسيتين حسب مكان تأثيرها على الخلايا المستهدفة—تلك التى لا يمكنها دخول الخلية المستهدفة ول كنها تؤثر من خلال مستقبلات على سطح الخلية، وتلك التى يمكنها د خول الخلية المستهدفة وتؤثر من خلال مستقبلات داخلها. القسمان ا لتاليان يصفان آلية عمل كل من هاتين الفئتين.

الببتيدات والكاتيكولامينات

الببتيدات والكاتيكولامينات محبة للماء ولا تستطيع اختراق غشاء ال بلازما للخلية المستهدفة، لذا يجب أن تحفز وظائفها الفسيولوجية ب شكل غير مباشر. فهى ترتبط بمستقبلات سطح الخلية، والتى ترتبط بأنظمة الرسول الثانى على الجانب الآخر من الغشاء)الشكل 17.18أ(. أشهر رسول ثانى هو الأدينوزين أحادى الفوسفات ا لحلقى)cAMP( )الشكل 17.19(. عندما يرتبط الجلوكاجون بسطح خل ية الكبد، على سبيل المثال، يقوم المستقبل بتنشيط



الشكل 17.18أفعال الهرمونات على الخلية المستهدفة.تم حذف بع ض خطوات العملية للتبسيط.)أ(تأثير هرمون ببتيدى من خلال مستق بل سطحى ورسول ثانى.
)ب(تأثير هرمون ستيرويدى عن طريق الانتشار إلى النواة والارتباط بمستقبل نووى مرتبط بجين. يمكن لأى من العمليتين أن تؤدى إلى مجم وعة واسعة من التأثيرات على الخلية المستهدفة.

هى كارهة للماء. للسفر فى مجرى الدم المائى، يجب أن ترتبط ببروتي نات نقل محبة للماء— الألبومينات والغلوبولينات التى يصنعها الكبد. يُسمى الهرمون المرتبط ببروتين النقل هرمون مرتبط، والهرمون الذ ى لا يرتبط يُسمى هرمون حر)غير مرتبط(. فقط الهرمون الحر يمكنه م غادرة الشعيرات الدموية والوصول إلى الخلية المستهدفة.

لا تقوم بروتينات النقل فقط بحمل الهرمونات الكارهة للماء، بل تطيل أيضًا من عمرها الفعّال فى مجرى الدم.
)انظر مفهوم *نصف العمر* فى القسم 17.4i(. تحمى هذه البروتينات ال هرمونات من التحلل بواسطة الإنزيمات فى بلازما الدم والكبد، ومن ا لترشيح خارج الدم عبر الكلى. قد يتحلل الهرمون الحر أو يُزال من الدم خلال دقائق قليلة، بينما قد يدور الهرمون المرتبط لساعات أو أسابيع.

يرتبط هرمون الغدة الدرقية بثلاثة بروتينات نقل فى بلازما الدم: *ا لألبومين؛* وبروتين يشبه الألبومين يُسمى *ثيريتين؛* والأهم من ذلك، غ لوبولين ألفا يُسمى *غلوبولين ربط الثيروكسين)TBG(.* أكثر من 99% من هرمون الغدة الدرقية المتداول مرتبط بالبروتين. يعمل الهرمون ا لمرتبط كمخزون دموى طويل الأمد، لذا حتى إذا أُزيلت الغدة الدرقية جراحيًا)كما فى حالة السرطان(، لا تظهر علامات نقص الهرمون لمدة حوالى أسبوعين.
ترتبط الهرمونات الستيرويدية بالغلوبولينات مثل *ترانسكورتين،* و هو بروتين النقل للكورتيزول. الألدوستيرون استثنائى. لا يمتلك بروتي ن نقل محدد ولكنه يرتبط بشكل ضعيف بالألبومين وغيره.
ومع ذلك، يبقى 85% منه غير مرتبط، وبالمقابل، فإن نصف عمره لا يتجاوز 20 دقيقة.

17.4e مستقبلات الهرمونات وأنماط العمل

تحفز الهرمونات فقط الخلايا التى تحتوى على مستقبلات لها—وهى *ا لخلايا المستهدفة.* المستقبلات هى بروتينات أو جليكوبروتينات تقع ع لى غشاء البلازما، أو فى السيتوبلازم، أو فى النواة. تعمل كمفاتيح لت شغيل أو إيقاف مسارات أيضية معينة عند ارتباط الهرمونات بها. عاد ةً ما تحتوى الخلية المستهدفة على عدة آلاف من المستقبلات لهرمو ن معين. تكمن عيوب المستقبلات فى قلب العديد من أمراض الغدد الصماء)انظر التعمق 17.1(.

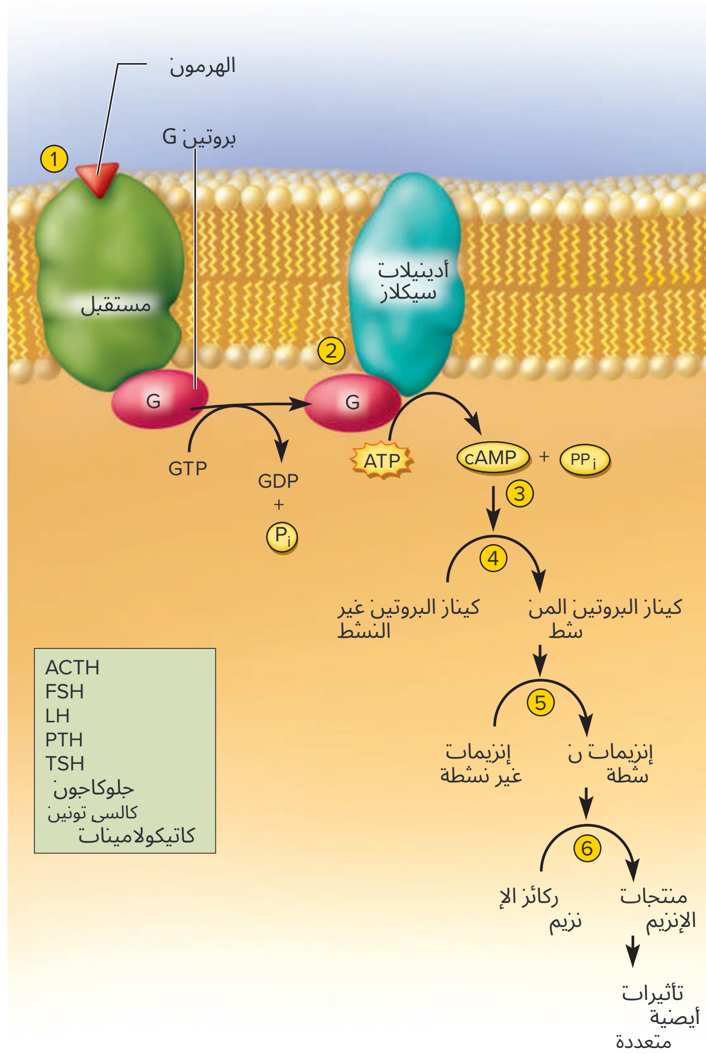


رؤية أعمق 17.1

التطبيق السريرى

مستقبلات الهرمونات والعلاج

فى علاج اضطرابات الغدد الصماء، من الضرورى فهم دور مستقبلات الهرمونات. على سبيل المثال، يسبب عيب أو نقص فى مستقبلات الأنسولين مرض السكر ى من النوع الثانى. لا يمكن لأى كمية من الأنسولين التعويضى تصحيح هذا. وبينم ا أصبح هرمون النمو متوفرًا بكثرة بفضل الهندسة الوراثية، إلا أنه عديم الفائدة للأ طفال المصابين بقزامة لارون، الذين لديهم عيب وراثى فى مستقبلات هرمون الن مو. متلازمة عدم حساسية الأندروجين ناتجة عن عيب أو نقص فى مستقبلات الأ ندروجين؛ مما يؤدى إلى تطور الأعضاء التناسلية الأنثوية وميزات أخرى لدى الذكور الوراثيين)انظر رؤية أعمق 27.1(. يحفز الإستروجين نمو بعض الأورام الخبيثة ال تى تحتوى على مستقبلات للإستروجين. ولهذا السبب، لا ينبغى استخدام علاج الإ ستروجين التعويضى للأشخاص المصابين بسرطان معتمد على الإستروجين.



1 ارتباط الهرمون بالمستقبل
ينشط بروتين G.

2 ينشط بروتين G الأدينيلات سيكلاز.

3 ينتج الأدينيلات سيكلاز cAMP.

4 ينشط cAMP كينازات البروتين.

5 تقوم كينازات البروتين بفوسفرة الإنزيمات.
هذا ينشط بعض الإنزيمات ويُعطل أخر
ى.

6 الإنزيمات النشطة تحفز التفاعلات الأيضية
مع مجموعة واسعة من التأثيرات
المحتملة على الخلية.

الشكل 17.19 AMP الدورى)cAMP(كرسول ثانٍ. الصندوق الأخضر يسرد بعض الهرمونات التى تعمل بهذه الطريقة.

لماذا لا توجد هرمونات ستيرويدية مدرجة فى هذا الصندوق؟

IP3 و DAG هما الرسولان الثانيان اللذان يفعّلان مجموعة واسعة من ا
لتغيرات الأيضية فى الخلايا المستهدفة، اعتمادًا على نوع الخلايا المع
نية والمسارات الإشارية الداخلية التى تستخدمها.

يقوم DAG بتنشيط كيناز البروتين)PK(، تمامًا كما يفعل cAMP
فى الشكل 17.19. يقوم PK بفوسفرة إنزيمات أخرى مختلفة، مما يؤد
ى إلى تشغيلها أو إيقافها وبالتالى تنشيط أو تثبيط عمليات أيضية م
تنوعة فى الخلية المستهدفة. على سبيل المثال، رأينا سابقًا أن الهرمو
ن المنشط للغدة الدرقية)TSH(يرتبط بخلايا جريبات الغدة الدرقية و
يحفزها على إفراز هرمون الغدة الدرقية إلى مجرى الدم. يعمل TSH م
ن خلال نظام الرسول الثانى DAG. فى خلايا أخرى، يحفز DAG الانق
سام الخلوى وتكاثر الخلايا. بعض العوامل المسببة للسرطان)المسرط
نات(تعمل عن طريق تقليد هذا التأثير المحفز للانقسام)mitogenic
لـ DAG.)

يعمل IP3 عن طريق زيادة تركيز الكالسيوم)Ca^{2+}(فى الخلية الم
ستهدفة. يمكنه فتح قنوات Ca^{2+} فى غشاء البلازما، مما يسمح بدخو
ل Ca^{2+} إلى الخلية من السائل خارج الخلوى، أو يمكنه فتح قنوات فى
الشبكة الإندوبلازمية، مما يؤدى إلى إطلاق سيل من الكالسيوم

بروتين G، الذى بدوره ينشط أدينيلات سيكلاز، الإنزيم الغشائى الذى
يُنتج cAMP. يؤدى cAMP فى النهاية إلى تنشيط الإنزيمات التى تحل
ل الجليكوجين المخزن فى الخلية، مما يؤدى إلى إطلاق الجلوكوز الحر
فى الدم وتحقيق وظيفة الجلوكاجون. بالمقابل، السوماتوستاتين يث
بط تخليق cAMP. لا تبقى الرسل الثانية لفترة طويلة داخل الخلية. ع
لى سبيل المثال، يتم تكسير cAMP بسرعة بواسطة إنزيم يُسمى ال
فوسفوديستراز، وبالتالى يكون التأثير الهرمونى قصير الأمد.

يبدأ نظامان آخران من أنظمة الرسل الثانية بأحد الفسفوليبيدات
فى غشاء البلازما. عند تنشيطها بواسطة بعض الهرمونات)الصندوق ا
لسفلى الأيسر فى الشكل 17.20(، يقوم المستقبل بتنشيط بروتين
G المرتبط بإنزيم قريب، *الفسفوليباز*، فى غشاء البلازما. يق
وم الفسفوليباز بتقسيم فسفوليبيد الغشاء إلى قطعتين — قطعة صغ
يرة تحتوى على الفوسفات تُسمى إينوزيتول ثلاثى الفوسفات)IP3(
آى-نوس-إى-تول(، وقطعة أكبر، هى العمود الفقرى للثلاثى الغليسريد
مع حمضين دهنيين ما زالا مرتبطين، تُسمى دياسيلجليسرول)DAG
) دى-آيس-أول-جليس-ير-أول(.

تؤدى هذه المسارات إلى تشغيل أو إيقاف مسارات استقلابية داخل ا
لخلية.

لا يستخدم هرمون معين دائمًا نفس الرسول الثانى. يستخدم هر
مون ADH نظام IP3-الكالسيوم فى العضلات الملساء، ولكن نظام cA
MP فى أنابيب الكلى. يختلف الإنسولين عن جميع ا
لآليات السابقة. بدلاً من استخدام نظام رسول ثان، يرتبط بإنزيم غشاء
البلازما، التيروزين كيناز، الذى يقوم بفوسفرة البروتينات السيتوبلازم
ية مباشرة.

تتسم التأثيرات الهرمونية التى تتم عبر المستقبلات السطحية ب
سرعة نسبية، لأنها لا تعتمد على تصنيع الخلية لبروتينات جديدة قبل
حدوث أى شيء آخر. وتعد الانقباضات الناتجة عن الأوكسيتوسين أثنا
ء الولادة مثالًا جيدًا على ذلك.

الستيرويدات وهرمون الغدة الدرقية

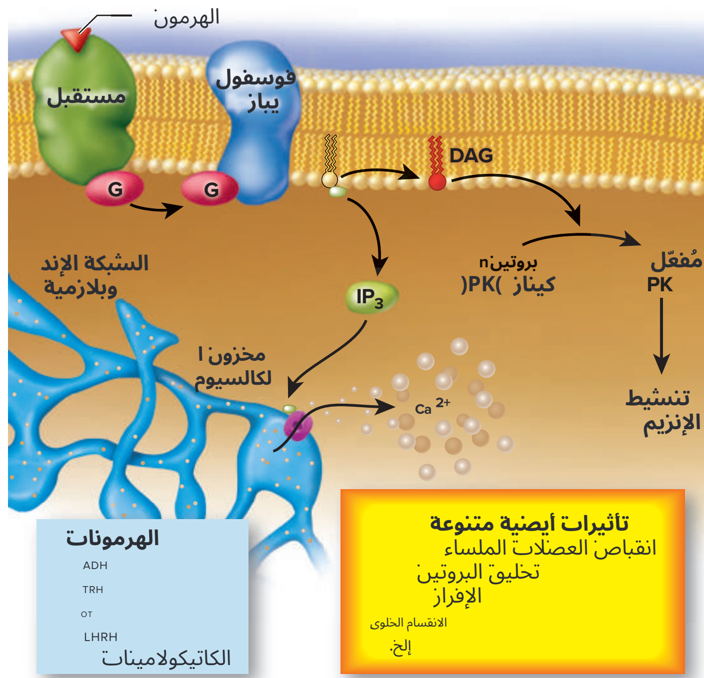
تعمل الهرمونات الستيرويدية وهرمون الغدة الدرقية بطريقة أبسط وأ
كثر مباشرة. فهى كارهة للماء وتخترق بسهولة غشاء البلازما للخلية الم
ستهدفة)الشكل 17.18ب(. تدخل معظم الستيرويدات مباشرة إلى
النواة وترتبط بمستقبل هناك؛ ومع ذلك، ترتبط الجلوكوكورتيكويدات
بمستقبل فى السيتوبلازم، ثم يتم نقل مركب الهرمون-المستقبل إلى
النواة. فى كلتا الحالتين، يرتبط المستقبل بالجينة المستهدفة فى النوا
ة ويقوم إما بتنشيط أو تثبيط نسخ جينة لإنزيم أيضى أو بروتين آخر. لم
ثال جيد على ذلك، انظر التأثير المسموح به للإستروجين على عمل ال
بروجستيرون فى الرحم فى القسم 17.4هـ.

يعمل هرمون الغدة الدرقية أيضًا على المستقبلات النووية لكنه
يُعالج بطريقة مختلفة قليلاً. يدخل الخلية المستهدفة عبر بروتين نقل
يعتمد على ATP. ومن المدهش أنه على الرغم من أن 90% من هرمو
ن الغدة الدرقية المُفرز هو الثيروكسين)T4(، إلا أن T4 له تأثير أيضى
ضئيل. داخل سيتوبلازم الخلية المستهدفة، يزيل إنزيم واحدًا من ذرا
ت اليود ويحوّله إلى الشكل النشط، T3. هذا T3 بالإضافة إلى كمية أ
صغر من T3 التى تُنتج مباشرة من الغدة الدرقية وتمتص من الدم، يد
خل النواة ويرتبط بالمستقبلات فى الكروماتين. واحدة من الجينات ال
تى ينشطها T3 هى جينة لإنزيم $Na^+–K^+$ ATPase)مضخة $Na^+–K^+$(
. ومن تأثير ذلك تحرير الحرارة من ATP، مما يفسر التأثير الحرارى الدا
فئ لهرمون الغدة الدرقية. كما ينشط T3 نسخ جينات لمستقبل النورا
بينفرين وجزء من بروتين العضلات الميوسين، مما يعزز استجابة الخ
لايا مثل عضلة القلب للتحفيز الودى ويزيد من قوة ضربات القلب.

عادةً ما تتطلب الهرمونات الستيرويدية وهرمونات الغدة الدرقية
عدة ساعات إلى أيام لإظهار تأثيرها. ويرجع هذا التأخير إلى الوقت اللاز
م لنسخ الجينات وترجمتها وتراكم كمية كافية من المنتج البروتينى لي
كون له تأثير ملحوظ على أيض الخلية المستهدفة.

17.4و تضخيم الإشارة

الهرمونات هى مواد كيميائية ذات قوة استثنائية. من خلال الية تسم
ى تضخيم الإشارة)أو تأثير السلسلة(، يحفز جزيء هرمون واحد تصن
يع ليس فقط جزيء إنزيم واحد بل عدد هائل)الشكل 17.21(. لتبسي
ط الأمر وتوضيحه، افترض أن جزيء جلوكاجون واحد حفز تكوين 100
0 جزيء من cAMP، وفعّل cAMP كيناز البروتين، وكل كيناز بروتين
فعّل 1000 جزيء إنزيم آخر، وكل واحد منهم أنتج 1000 جزيء من ت
فاعل



الشكل 17.20 دياسيلجليسرول)DAG(وإنوزيتول ثلاثى الفوسفات)IP3(ن
ظام الرسول الثانى. تُستخدم هذه بواسطة الهرمونات المذكورة فى ا
لصندوق السفلى الأيسر.

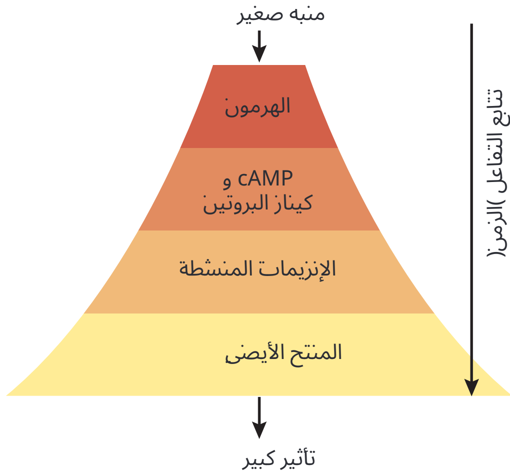
دخول Ca^{2+} إلى السيتوسول. ثم يعمل الكالسيوم بعدة طرق
لتغيير فسيولوجيا الخلية:

1. يرتبط ببعض الإنزيمات السيتوبلازمية المعتمدة على الكالسيوم التى تغير استقلاب الخلية.
2. يمكنه الارتباط بمستقبل الكالسيوم السيتوبلازمى، الكالمودولين. ليس فقط أن الكالمودولين المرتبط بالكالسيوم هو المفتاح لانقباض العضلات الملساء، بل يمكنه أيضًا تنشيط كينازات البروتين ذات التأثيرات اللاحقة مثل cAMP أو DAG.
3. يرتبط بقنوات الغشاء ويغير نفاذيتها للذائبات الأخرى، وفى بعض الحالات يغير جهد الغشاء)الجهد الكهربائى(للخلية.

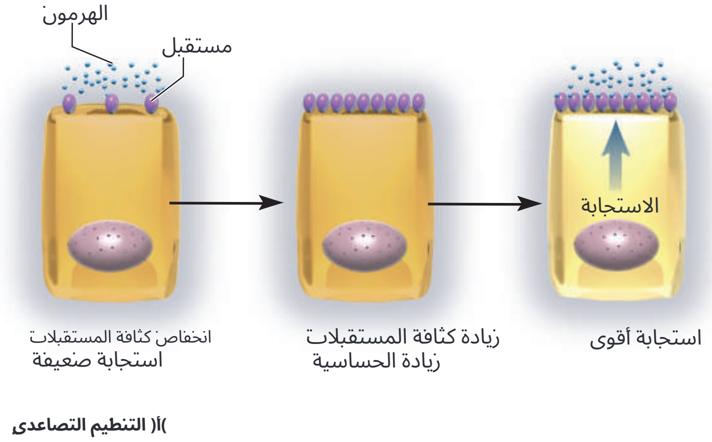
يُعد الولادة مثالاً على كيفية عمل نظام الرسول الثانى IP_3 الأوك
سيتوسين)OT(من الغدة النخامية يرتبط بمستقبلات على خلايا الع
ضلات الملساء فى الرحم. يحفز عملية إطلاق IP3 المذكورة، وIP3 بدور
ه يحفز الشبكة الساركوبلازمية لإطلاق Ca^{2+} ثم يفتح هذا التدفق الأو
لى للكالسيوم قنوات فى غشاء البلازما تسمح بدخول المزيد من الكال
سيوم إلى الخلية من السائل خارج الخلوى.

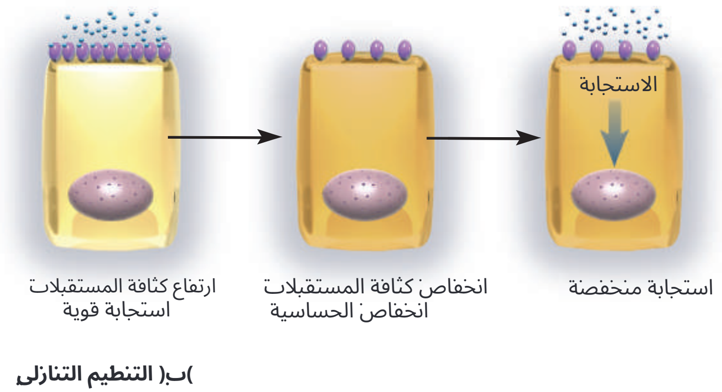
يرتبط الكالسيوم بالكالمودولين، ويحفز انقباضات المخاض
)انظر انقباض العضلات الملساء فى القسم 11.7ب(.

النقطة العامة فى كل هذا هى أن الهرمونات المحبة للماء مثل ت
لك المدرجة فى الصندوق السفلى الأيسر من الشكل 17.20 لا يمكنها
دخول الخلية الهدف. ومع ذلك، بمجرد "الطرق على الباب")الارتباط
بمستقبل سطحى(، يمكنها بدء نشاط استقلابى مكثف داخل الخلية. ا
لخطوات الأولية فى هذه العملية هى تنشيط بروتين G والفوسفوليباز.
من هناك، تُتخذ مسارات متفرعة تشمل DAG وIP3 وCa^{2+} كرسل
ثانية. فى النهاية



الشكل 17.21 تضخيم الإشارة. يمكن لجزيء هرمون واحد أن يحفز إنتاج العديد من جزيئات cAMP وتنشيط العديد من جزيئات كيناز البروتين. يسمح تضخيم العملية في هذه الخطوة وكل خطوة تالية بأن يسبب منبه هرموني صغير جدًا تأثيرًا أيضيًا كبيرًا جدًا.





الشكل 17.22 تعديل حساسية الخلية المستهدفة.)أ(التنظيم التصاعدي، حيث تنتج الخلية المزيد من المستقبلات وتزيد حساسيتها للهرمون.)ب(ا لتنظيم التنازلي، حيث تقلل الخلية من كثافة مستقبلاتها وتقلل من حسا سيتها لهرمون.

المنتج. هذه أعداد متواضعة بالنسبة للتفاعلات الكيميائية، ومع ذلك حتى مع هذا التقدير المنخفض، فإن كل جزيء جلوكاجون سيحفز إنتا ج مليار جزيء من ناتج التفاعل. مهما كانت الأرقام الفعلية، يمكنك أن ترى كيف يمكن لتضخيم الإشارة أن يمكن من تأثير صغير جدًا أن ين تج تأثيرًا كبيرًا جدًا.

لذلك، فإن الهرمونات فعالة بقوة حتى بكميات صغيرة جدًا. تركيزاتها في الدم منخفضة جدًا مقارنةً بالمواد الأخرى في الدم — على مستوى نانوجرام لكل ديسيلتر. على سبيل المثال، تركيز الجلوكوز في الدم أعلى بحوالي 100 مليون مرة من ذلك.

بسبب تضخيم الإشارة، لا تحتاج الخلايا المستهدفة إلى عدد كبير من مستقبلات الهرمون.

17.4ح تعديل حساسية الخلية المستهدفة

يمكن للخلايا المستهدفة تعديل حساسيتها لهرمون معين عن طريق تغيير عدد المستقبلات الخاصة به. في التنظيم التصاعدي، تزيد الخل ية من عدد المستقبلات وتصبح أكثر حساسية للهرمون)الشكل 17.2 2أ(. على سبيل المثال، في أواخر الحمل، ينتج الرحم مستقبلات الأو كسيتوسين، مهيئًا نفسه لزيادة الأوكسيتوسين التي ستحدث أثناء الو لادة.

التنظيم التنازلي هو العملية التي تقلل فيها الخلية من عدد مس تقبلاتها وبالتالي تصبح أقل حساسية للهرمون)الشكل 17.22ب(. يح دث هذا أحيانًا استجابةً للتعرض طويل الأمد لتركيزات عالية من الهرم ون. على سبيل المثال، تقلل الخلايا الدهنية من عدد مستقبلاتها عند تعرضها لتركيزات عالية من الإنسولين، وتقلل خلايا الخصية من عدد مستقبلاتها استجابةً لتركيزات عالية من هرمون اللوتين.

غالبًا ما تنطوي المعالجة الهرمونية على استخدام طويل الأمد لجرعات د وائية *عالية بشكل غير طبيعي* من الهرمون، والتي قد تسبب آثارًا جانبية غير مرغوبة. هناك طريقتان يمكن أن تنشأ بهما هذه الآثار الجانبية الضارة:

)1(قد يرتبط الهرمون الزائد بمواقع مستقبلات لهرمونات أخرى ذات صلة ويقلد تأثيراتها؛ و)2(قد تحول الخلية المستهدفة هرمونًا إلى آخر، مثل تحو يل التستوستيرون إلى الإستروجين. وبالتالي، يمكن للجرعات العالية طوي لة الأمد من التستوستيرون أن تسبب، بشكل متناقض، تأثيرات أنثوية.

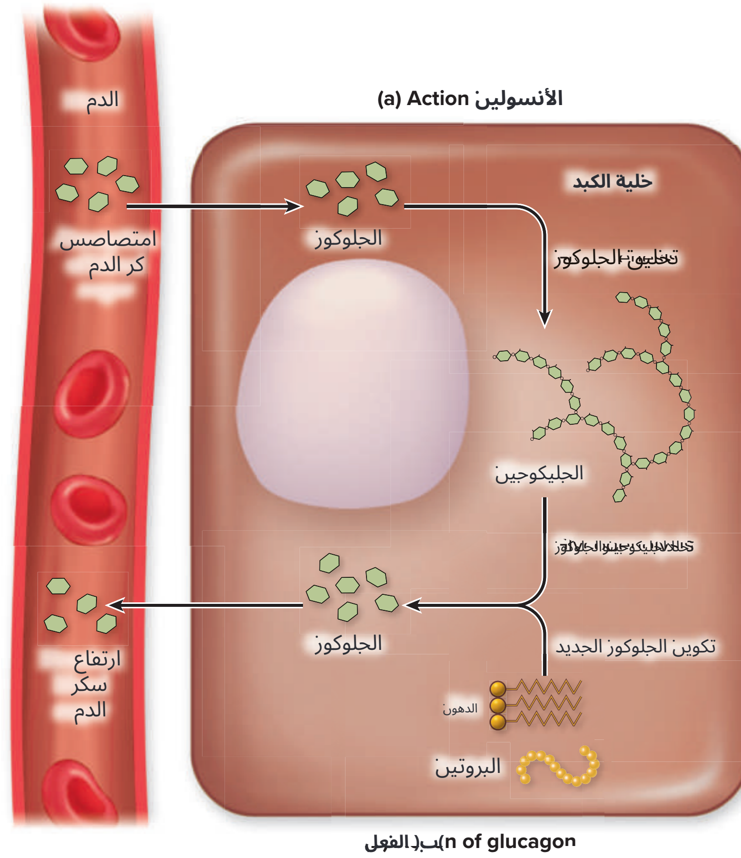
يُرى هذا كثيرًا عند الرجال الذين يفرطون في استخدام الستيرويدات الابتنائية-الأند روجينية)انظر التعمق 2.6(.

17.4ح تفاعلات الهرمونات

لا يسافر أي هرمون في مجرى الدم بمفرده، ولا تتعرض أي خلية لهرم ون واحد فقط. بل توجد العديد من الهرمونات في الدم وسوائل الأنس جة في آن واحد. تتجاهل الخلايا معظمها لأنها لا تمتلك مستقبلات له ا، لكن معظم الخلايا تكون حساسة لأكثر من هرمون واحد. في هذه الح الات، قد يكون للهرمونات ثلاثة أنواع من التأثيرات التفاعلية:

1. التأثيرات التآزرية، حيث يعمل هرمونان أو أكثر معًا لإنتاج تأثير أكبر من مجموع تأثيراتهم المنفصلة. على سبيل المثال، لا يحفز كل من FSH أو التستوستيرون بمفرده إنتاجًا كبيرًا للحيوانات المنوية. ومع ذلك، عندما يعملان معًا، ينتج الخصيتان حوالي 300,000 حيوان منوي في الدقيقة.

2. التأثيرات التيسيرية، حيث يعزز هرمون واحد استجابة العضو الم ستهدف لهرمون ثانٍ سيأتي لاحقًا. على سبيل المثال، عندما يد خل الإستروجين من المبايض إلى خلايا



الشكل 17.23 التأثيرات المتضادة للأنسولين والجلوكاجون على الكبد.)أ(تأثير الأنسولين في تعزيز امتصاص الجلوكوز، وتخزين الجليكوجين، وخفض مس توى الجلوكوز في الدم.)ب(تأثير الجلوكاجون في تعزيز تحلل الجليكوجين، وتكوين الجلوكوز، وإطلاق الجلوكوز في الدم، ورفع مستوى الجلوكوز في الدم. تكوين الجليكوجين هو تخليق الجليكوجين؛ تحلل الجليكوجين هو تحلله)تفكيكه إلى جلوكوز(؛ وتكوين الجلوكوز الجديد هو تخليق الجلوكوز من غير الكربوهيدرات، وخا صة الدهون والبروتينات.

التي ترتبط ببروتينات النقل تُزال من الدم بشكل أبطأ بكثير من الهرمو نات التي لا تستخدم بروتينات النقل.
معدل إزالة الهرمون يُسمى معدل الإزالة الأيضية)MCR(، والمدة الزمنية اللازمة لإزالة 50% من الهرمون من الدم تُسمى نصف العمر. كلما زاد معدل الإزالة الأيضية، قل نصف العمر. على سبيل المثال، ه رمون النمو لا يستخدم بروتين نقل وله نصف عمر يتراوح بين 6 إلى 2 0 دقيقة فقط. أما الثيروكسين، فهو محمي بواسطة بروتينات النقل و يحافظ على مستوى فعال فسيولوجيًا في الدم لمدة تصل إلى أسبوع ين بعد توقف إفرازه.

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

17. ما هي الفئات الكيميائية الثلاثة للهرمونات؟ اذكر على الأقل هرمو نًا واحدًا في كل فئة.
18. لماذا تتطلب الكورتيكوستيرويدات وهرمونات الغدة الدرقية بروتينات ناقلة للسفر في مجرى الدم؟
19. اشرح كيف ترتبط MIT وDIT وT_3 وT_4 ببعضها هيكليًا.
20. أين تقع مستقبلات الهرمونات في الخلايا المستهدفة؟ اذكر هرمونًا واحدًا يستخدم كل موقع من مواقع المستقبلات.
21. اشرح كيف يمكن لجزيء هرمون واحد أن ينشط ملايين جزيئات الإنزيم.

بطانة الرحم، ترتبط بمستقبلاتها النووية وتنشط جين مستقبل ا لبروجيستيرون. ثم تقوم خلايا الرحم بزيادة عدد مستقبلات البرو جيستيرون النووية لديها. يأتي البروجيستيرون لاحقًا في دورة الح يض، ويرتبط بهذه المستقبلات، ويحفز نسخ جين إنزيم تخليق الجليكوجين. بعد ذلك تقوم خلايا الرحم بتخليق وتراكم الج ليكوجين لتغذية الجنين في حالة حدوث الحمل. لا يؤثر البروج يستيرون على بطانة الرحم إلا إذا كان الإستروجين قد حضر سابقًا وأعد الطريق عن طريق تحفيز تخليق مستقبلات البروجيستيرو ن.

لذا فإن الإستروجين له تأثير سماحي على عمل البروجيستيرون.

3. تأثيرات مضادة، حيث يعارض هرمون واحد عمل هرمون آخر. على سبيل المثال، يخفض الإنسولين مستوى الجلوكوز في الدم بينما يرفعه الجلوكاجون)الشكل 17.23(. خلال الحمل، يمنع الإ ستروجين القادم من المشيمة الغدد الثديية من الاستجابة لهر مون البرولاكتين؛ وبالتالي لا يتم إفراز الحليب حتى يتم التخلص من المشيمة عند الولادة.

17.4i إزالة الهرمونات

يجب إيقاف الإشارات الهرمونية، مثل الإشارات العصبية، عندما تؤد ي وظيفتها. يتم امتصاص معظم الهرمونات وتحليلها بواسطة الكبد وا لكليتين ثم تُطرح في الصفراء أو البول.
يتم تحليل بعضها بواسطة خلايا الهدف نفسها. كما ذُكر سابقًا، فإن الهرمونات

ومع ذلك، يمكن أن يكون لإفراز الكورتيزول المفرط)أو الاستخدام الطبي للهيدروكورتيزون(بعض الآثار السلبية. يثبط الكورتيزول إفراز هرمونات الجنس مثل الإستروجين والتستوستيرون والهرمون الملوتن، مما يسبب اضطرابات في الخصوبة والوطيفة الجنسية. كما أن الارتفاع طويل الأمد في إفراز الكورتيزول يضعف المناعة)انظر التعمق 21.4(. يثبط تخليق الليكوترينات والبروستاجلاندينات الواقية)انظر الوسم 17.6(، ويكبح إنتاج الأجسام المضادة، ويقتل الخلايا التائية والبائية غير الناضجة — وهما عائلتان مهمتان من خلايا المناعة. تلتئم الجروح بشكل سيئ، ويصبح الشخص تحت ضغط مزمن أكثر عرضة للعدوى وبعض أنواع السرطان. يمكن أن يفاقم التوتر القرح الهضمية بسبب انخفاض المقاومة للبكتيريا المسببة لها ولأن الإبينفرين المتداول يقلل من إفراز المخاط المعدي وبيكربونات البنكرياس التي تحمي عادة الغشاء المخاطي للجهاز الهضمي.

17.5ح مرحلة الإنهاك

يمكن لمخزون الدهون في الجسم أن يدعمه خلال شهور من التوتر، ولكن عندما تنفد الدهون، يتغلب التوتر على التوازن الداخلي. تبدأ مرحلة الإنهاك، التي غالبًا ما تتميز بانخفاض سريع والموت. مع نفاد مخازن الدهون، يعتمد الجسم الآن بشكل أساسي على تحلل البروتين لتلبية احتياجاته من الطاقة. وبالتالي، يحدث هزال تدريجي في العضلات وضعف في الجسم. بعد تحفيز طويل الأمد، قد تتوقف قشرة الغدة الكظرية عن إنتاج الجلوكوكورتيكويدات، مما يجعل من الصعب الحفاظ على توازن الجلوكوز.

أحيانًا يعزز الألدوستيرون احتباس الماء بشكل كبير مما يسبب ارتفاع ضغط الدم، وبينما يحافظ على الصوديوم، فإنه يسرع من التخلص من أيونات البوتاسيوم والهيدروجين. هذا يخلق حالة نقص بوتاسيوم الدم)نقص البوتاسيوم(والقلاء)ارتفاع درجة الحموضة بشكل مفرط(، مما يؤدي إلى اضطرابات في الجهاز العصبي والعضلي.

غالبًا ما يؤدي الموت إلى فشل القلب أو فشل الكلى أو عدوى مفرطة.

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

22. عرّف الإجهاد من وجهة نظر الغدد الصماء.
23. صف مراحل متلازمة التكيف العام.
24. عدد ستة هرمونات تظهر زيادة في الإفراز خلال استجابة الإجهاد. وصف كيف يساهم كل منها في التعافي من الإجهاد.

17.5 الإجهاد والتكيف

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمالك لهذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. تقديم تعريف فسيولوجي للإجهاد؛ و

ب. مناقشة كيفية تكيف الجسم مع الإجهاد من خلال نظامه الغدد الصماء والجهاز العصبي الودي.

يُعرّف الإجهاد بأنه أي حالة تخل بالتوازن الداخلي وتهدد الرفاهية الجسدية أو العاطفية للفرد. يؤثر علينا جميعًا من وقت لآخر، ونستجيب له بطرق يوسّطها بشكل رئيسي نظام الغدد الصماء والجهاز العصبي الودي. تشمل الأسباب الفيزيائية للإجهاد)المُجهدات(الإصابة، الجراحة، النزيف، العدوى، التمارين الشديدة، درجات الحرارة القصوى، الألم، وسوء التغذية. وتشمل المُجهدات العاطفية القلق، الخوف، الغضب، الحزن، الاكتئاب، والشعور بالذنب.

مهما كان السبب، يتفاعل الجسم مع التوتر بطريقة متسقة إلى حد ما تُسمى استجابة التوتر أو متلازمة التكيف العام)GAS(. عادةً ما تتضمن الاستجابة مستويات مرتفعة من الأدرينالين والكورتيزول؛ يعرف بعض علماء الفسيولوجيا *التوتر على أنه أي حالة ترفع مستوى الكورتيزول. أظهر الباحث الرائد في فسيولوجيا التوتر، الكيميائي الحيوي الكندي هانز سيلي، في عام 1936 أن متلازمة التكيف العام تحدث عادةً في ثلاث مراحل، أطلق عليها رد الفعل الإنذاري، و مرحلة المقاومة، و مرحلة الإنهاك.*

17.5أ رد الفعل الإنذاري

الاستجابة الأولية للتوتر هي رد الفعل الإنذاري، الذي يتوسطه بشكل رئيسي النورإبينفرين من الجهاز العصبي الودي والإبينفرين من لب الغدة الكظرية. في الحالات القصوى، كما في الحيوانات البرية، تُعد هذه الاستجابة الجسم لاتخاذ إجراء مثل القتال أو الهروب من الخطر. أحد تأثيراتها، حتى في البشر، هو استهلاك الجليكوجين المخزن، وهو أمر مهم بشكل خاص في الانتقال إلى المرحلة التالية من استجابة التوتر. كما ترتفع مستويات الأنجيوتنسين والألدوستيرون خلال رد الفعل الإنذاري. يساعد الأنجيوتنسين في رفع ضغط الدم، ويعزز الألدوستيرون احتباس الصوديوم والماء، مما يساعد على تعويض الخسائر المحتملة عن طريق التعرق والنزيف.

17.5ب مرحلة المقاومة

إذا لم تُحل الحالة المجهدة قبل نفاد الجليكوجين ولم تستطع المدخولات الغذائية مواكبة الحاجة إلى الجلوكوز، يدخل الجسم مرحلة المقاومة، التي تكون الأولوية فيها توفير مصادر وقود بديلة لعملية الأيض. تهيمن على هذه المرحلة الكورتيزول. يفرز الوطاء هرمون إفراز الكورتيكوتروبين)CRH(؛ وتستجيب الغدة النخامية بإفراز هرمون قشر الكظر)ACTH(؛ وهذا بدوره يحفز قشرة الغدة الكظرية على إفراز الكورتيزول وغيره من الجلوكوكورتيكويدات. يعزز الكورتيزول تحلل الدهون والبروتين إلى الجليسرول والأحماض الدهنية والأحماض الأمينية، مما يوفر للجسم وقودًا بديلاً. مثل الإبينفرين، يثبط الكورتيزول امتصاص الجلوكوز من قبل معظم الأعضاء وبالتالي له تأثير توفير الجلوكوز. كما يثبط تخليق البروتين، مما يترك الأحماض الأمينية الحرة متاحة لتكوين الجلوكوز الجديد.

17.6 الإيكوسانويدات وجزيئات الإشارة الأخرى

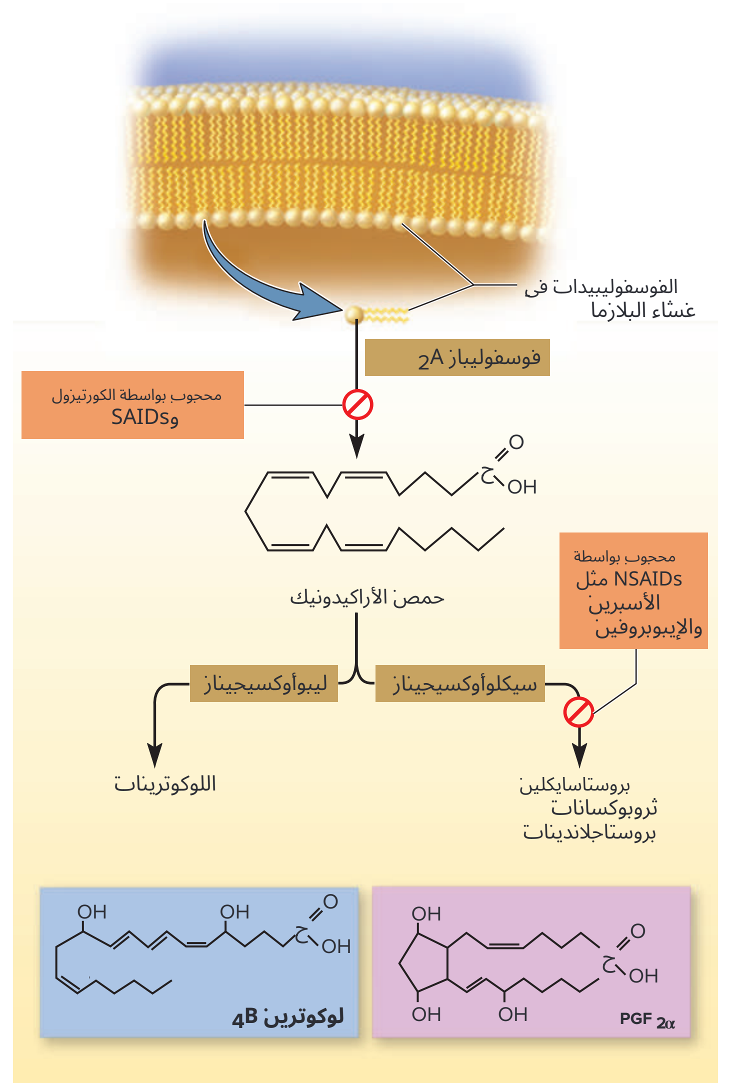
النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمالك لهذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. اشرح ما هي الإيكوسانويدات وكيف يتم إنتاجها؛

ب. حدد بعض الفئات والوظائف للإيكوسانويدات؛ و

ج. وصف عدة أدوار فسيولوجية للبروستاجلاندينات.



الشكل 17.24 تخليق الإيكوزانويد وتأثيرات الأدوية ذات الصلة.SA IDs هى أدوية مضادة للالتهاب ستيرويدية مثل الهيدروكورتيزون؛ NSAIDs هى أدوية مضادة للالتهاب غير ستيرويدية مثل الأسبرين والإيبوبروفين. يُعرض فى الأسفل مثال على لوكوترين وبروستاجلاندين.

كيف سيتأثر الجسم بدواء يثبط بشكل انتقائى إنزيم الليبوكسجيناز؟

)انظر التعمق 17.2(. يتم استكشاف أدوار البروستاجلاندينات والإيكوسانويدات الأخرى بشكل أعمق فى الفصول اللاحقة حول الدم، المناعة، والتكاثر.

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

25. ما هى الإيكوسانويدات وكيف تختلف عن الناقلات العصبية والهرمونات؟

26. تمييز بين التأثيرات المحلية)الباراكرين(والتأثيرات الصماء)الإندوكراين(.

27. اذكر أربع وظائف للبروستاجلاندينات.

الناقلات العصبية والهرمونات ليست الرسائل الكيميائية الوحيدة فى الجسم. هناك أيضًا رسائل *الباراكرين والأوتوكرين* — إشارات كيميائية لا تنتقل عبر الدم بل تبقى وتؤثر محليًا. إشارات الباراكرين تنتشر فقط إلى الخلايا القريبة فى نفس النسيج. على سبيل المثال، الهيستامين يُفرز بواسطة *خلايا البدينة* التى تقع بجانب الأوعية الدموية فى الأنسجة الضامة. ينتشر إلى العضلات الملساء فى الأوعية الدموية، مسببًا استرخاءها والسماح بتوسع الأوعية. الكاتيكولامينات مثل الإبينفرين تنتشر من لب الغدة الكظرية إلى القشرة لتحفيز إفراز الكورتيكوستيرون. إشارات الأوتوكرين تحفز نفس الخلية التى تفرزها. على سبيل المثال، تفرز خلايا الكبد جزىء إشارة يسمى هيبسيدين الذى يتحكم فى مستوى الحديد فى الدم)مفصل فى الفصل 25(. كهرمون، ينتقل عبر الدم إلى الأمعاء الدقيقة وينظم امتصاص الحديد الغذائى. وكإشارة أوتوكرين، يحفز أيضًا خلايا الكبد نفسها التى تفرزه وينظم إطلاق الحديد المخزن فى الدم.لذا، يمكن اعتبار مادة كيميائية واحدة هرمونًا أو باراكرين أو أوتوكرين أو ناقلًا عصبيًا حسب الموقع والظروف.

تُعد الإيكوسانويدات[27])eye-CO-sah-noyds(عائلة مهمة من الإفرازات الباراكرينية. لها هيكل كربونى مكون من 20 ذرة كربون مشتق من حمض دهنى يسمى حمض الأراكيدونيك (ah-RACK-ih-DON-ic). بعض الهرمونات الببتيدية ومحفزات أخرى تحرر حمض الأراكيدونيك من أحد الفسفوليبيدات فى غشاء البلازما، ثم تقوم الإنزيمات التالية بتحويله إلى إيكوسانويدات مختلفة)الشكل 17.24(.

إنزيم ليبوكسجيناز يساعد فى تحويل حمض الأراكيدونيك إلى اللوكوترايينات — إيكوسانويدات تتوسط التفاعلات التحسسية والالتهابية. إنزيم السيكلوأوكسيجيناز يحول حمض الأراكيدونيك إلى ثلاثة إيكوسانويدات أخرى:

1. البروستاسايكلين يُنتج بواسطة جدران الأوعية الدموية، حيث يمنع تجلط الدم وتضيق الأوعية.
2. الثرومبوكسانات تُنتج بواسطة صفائح الدم. فى حالة الإصابة، تتغلب على تأثير البروستاسايكلين وتحفز تضيق الأوعية وتجلط الدم. سيتم مناقشة البروستاسايكلين والثرومبوكسانات بمزيد من التفصيل فى الفصل 18.
3. البروستاجلاندينات)PGs(هى أكثر الإيكوسانويدات تنوعًا. لديها حلقة كربونية خماسية الأضلاع فى هيكلها الأساسى. تُسمى PG اختصارًا للبروستاجلاندين، بالإضافة إلى حرف ثالث يشير إلى نوع بنية الحلقة)PGE، PGF، إلخ(ورقم أسفل يشير إلى عدد الروابط الثنائية C = C فى السلسلة الجانبية—مثل PGF 2α الموضحة فى الشكل 17.24. تم اكتشافها لأول مرة فى سائل منوى الثور وغدة البروستاتا، ومن هنا جاء اسمها، لكنها تُنتج فعليًا فى جميع أعضاء الجسم تقريبًا. عادةً ما تُعادل PGEs بواسطة PGFs. على سبيل المثال، عائلة PG E ترخى العضلات الملساء فى المثانة والأمعاء والشعب الهوائية والرحم وتحفز انقباض العضلات الملساء للأوعية الدموية. PGF 2α لها تأثيرات معاكسة تمامًا. بعض الأدوار الأخرى للبروستاجلاندينات موصوفة فى الجدول 17.6.

فهم مسارات تخليق الإيكوسانويدات يجعل من الممكن فهم تأثير بعض الأدوية المألوفة

[27] *إيكوزا* = 20)تنويع *إيكوزا*(

كما رأينا في مناقشة تضخيم الإشارة، يمكن لهرمون قليل أن يكون له تأثير كبير. لذلك، من الضروري تنظيم إفراز الهرمونات وتركيزها في الد م بشكل محكم. غالبًا ما يكون لتغيرات الإفراز وحساسية الخلايا المس تهدفة تأثيرات ملحوظة جدًا على الجسم. تتناول هذه الفقرة بعض الا ضطرابات المعروفة في الجهاز الصماء. يتم وصف تأثيرات الشيخوخة على الجهاز الصماء في الفصل 29.

17.7أ نقص الإفراز وفرط الإفراز

يسمى الإفراز غير الكافي للهرمونات نقص الإفراز. يمكن أن ينتج عن أورام أو آفات تدمر غدة صماء أو تعيق قدرتها على استقبال الإشارات من خلية أخرى. على سبيل المثال، يمكن لكسر في عظم الوتدي أن يقطع المسار الوطائي-النخامي ويمنع نقل الأوكسيتوسين والهرمون ا لمضاد لإدرار البول (ADH) إلى الغدة النخامية الخلفية. يؤدي نقص إ فراز ADH الناتج إلى تعطيل قدرة الكلى على حفظ الماء ويؤدي إلى دا ء السكري الكاذب، وهو إخراج كمية كبيرة من البول الخالي من الجلو كوز. (*كاذب* تعني "بدون طعم" وتشير إلى عدم حلاوة البول، على عك س البول السكري في داء السكري الحقيقي.) يمكن أن تؤدي الأمراض المناعية الذاتية أيضًا إلى نقص إفراز الهرمونات عندما تهاجم الخلايا ا لصماء بأجسام مضادة أو خلايا مناعية خاصة بالجسم نفسه. هذا أحد أ سباب داء السكري الحقيقي. يؤدي الغياب الخلقي أو نقص تطور الغد ة النخامية إلى *نقص إفراز هرموني شامل*، وهو نقص واسع النطاق في إفراز عدة هرمونات تتأثر بالغدة النخامية، ويتطلب علاجًا تعويضيًا متعددة الهرمونات مدى الحياة.

الإفراز المفرط للهرمونات، المسمى فرط الإفراز، له أسباب متع ددة. بعض الأورام تنطوي على نمو مفرط في الأنسجة الصماء الوظ فية. على سبيل المثال، ورم القواتم (فيوكروموسيتوما)، هو ورم في لب الغدة الكظرية يفرز كميات مفرطة من الأدرينالين والنورأدرينالين. بعض الأورام في الأعضاء غير الصماء تنتج هرمونات. على سبيل الم ثال، بعض أورام الرئة تفرز ACTH وتحفز إفراز الكورتيزول من الغدة ال كظرية بشكل مفرط. في حين أن بعض الاضطرابات المناعية الذاتية يمكن أن تسبب نقص إفراز هرموني، فإن أخرى تسبب فرط إفراز.

مثال على ذلك هو الدراق السمي (مرض جريفز[82])، حيث تحاكي الأج سام المضادة الذاتية تأثير هرمون TSH على الغدة الدرقية، مما ينشط مستقبلات TSH ويسبب فرط إفراز الغدة الدرقية. يمكن أيضًا تقليد ا ضطرابات فرط إفراز الغدد الصماء بواسطة الإفراط أو الاستخدام السر يري طويل الأمد لهرمونات مثل الكورتيزول.
فيما يلي أوصاف موجزة لبعض الاضطرابات المعروفة في الغدد ا لصماء الرئيسية. الجدول 17.7 يقدم تفاصيل إضافية عن بعضها ويذ كر بعض الاضطرابات الصماء الأخرى.

17.7ب اضطرابات الغدة النخامية

يسبب فرط إفراز هرمون النمو (GH) في الطفولة أو المراهقة، قبل إغ لاق صفائح النمو (مناطق النمو) في العظام الطويلة، العملقة. في ح ين يسبب نقص إفراز هرمون النمو في الطفولة القزامة النخامية. الآ ن بعد أن أصبح هرمون النمو متوفرًا بكثرة، مصنوعًا بواسطة بكتيريا م هندسة وراثيًا تحتوي على جين هرمون النمو البشري، أصبحت القزامة النخامية نادرة. في مرحلة البلوغ، بعد إغلاق صفائح النمو، يكون هرمو ن النمو

[82] روبرت جيمس غريفز (١٦٩٧١-٣٥٨١)، طبيب أيرلندي

الجدول 17.6 بعض أدوار البروستاجلاندينات

البروستاجلاندينات	الوظيفة
الالتهابية	تعزز الحمى والألم، وهما علامتان أساسيتان للالتها ب
الغدد الصماء	تحاكي تأثيرات هرمونات TSH وACTH وغيرها من الهر مونات؛ تغير حساسية الغدة النخامية الأمامية تجاه هرمو نات الوطاء؛ تعمل مع الجلوكاجون، الكاتيكولامينات، و غيرها من الهرمونات في تنظيم تحريك الدهون
عصبي	تعمل كمنظمات عصبية، تغير إفراز أو تأثيرات الناقلات العصبية في الدماغ
تكاثري	تعزز الإباضة وتكوين الجسم الأصفر؛ تحفز تقلصا ت الولادة
جهاز هضمي	تثبط إفراز المعدة
وعائي	تعمل كموسعات ومضيقات للأوعية الدموية
تنفسي	تضييق أو توسع القصيبات
كلوي	تعزيز الدورة الدموية عبر الكلى، زيادة إفراز الماء والإلكتروليتات



نظرة أعمق 17.2

التطبيق السريري

الأدوية المضادة للالتهابات

يُستخدم الكورتيزول والكورتيكوستيرون كأدوية مضادة للالتهابات الستيرويدية (SA IDs). فهي تثبط الالتهاب عن طريق حجب إطلاق حمض الأراكيدو نيك من غشاء البلازما، وبالتالي تثبيط تخليق جميع الإيكوسانويدات. العيب الرئ سي لها هو أن الاستخدام المطول يسبب آثارًا جانبية تحاكي متلازمة كوشينغ (المو ضحة في القسم التالي). الأسبرين، الإيبوبروفين (موترين)، والسيليكوكسيب (س ليبريكس) هي أدوية مضادة للالتهابات غير ستيرويدية (NSAIDs)، وتُسمى أيضًا م ثبطات COX لأنها تمنع عمل إنزيم السيكلوأوكسيجيناز (COX). ميزتها أنها لا تؤثر على وظيفة الليبوكسجيناز أو إنتاج الليكوترين. أحد أشكال السيكلوأوكسيجيناز، C OX-2، خاص بخلايا الالتهاب، لذا كان هناك اهتمام خاص بتطوير مثبطات COX-2 آمنة يمكنها علاج الالتهاب دون آثار جانبية غير مرغوبة مثل تلف الجهاز الهضمي والأحداث القلبية الوعائية مثل السكتة الدماغية واحتشاء عضلة ا لقلب.

تُعد مثبطات COX مفيدة أيضًا في علاج الحمى والتخثر (تجلط الدم غير المرغو ب فيه). يُعتقد أن الحمى ناتجة عن تأثير البروستاجلاندينات على الوطاء. يمارس ا لأسبرين تأثيره المضاد للحمى عن طريق تثبيط تخليق البروستاجلاندين وتأثيره الم ضاد للتخثر عن طريق تثبيط تخليق الثرومبوكسان.

17.7 اضطرابات الغدد الصماء

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمالك لهذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. شرح بعض الأسباب العامة وأمثلة على نقص إفراز الهرمونات وزيادة إفرازها؛

ب. وصف موجز لبعض الاضطرابات الشائعة في وظائف الغدة النخامية، الغدة الدرقية، الغدد الجار درقية، والغدة الكظرية؛ و

ج. اشرح بمزيد من التفصيل أسباب ومرض السكري.



الشكل 17.25 ضخامة الأطراف. هذا المرض ناتج ع ن فرط إفراز هرمون النمو فى مرحلة البلوغ. اليد اليم نى توضح سماكة مميزة مقارنة باليد الطبيعية على الى سار.

Wysocka Malgorzata/Shutterstock

تشير كلمة *متوطن* إلى حدوث مرض فى منطقة جغرافية محددة. كان تضخم الغدة الدرقية المتوطن شائعًا فى وسط غرب الولايات المتحد ة)المعروف بـ "حزام التضخم"(بسبب التربة الفقيرة باليود وقلة الو صول إلى المأكولات البحرية الغنية باليود. ومع ذلك، فقد أصبح نادرًا جدًا فى البلدان المتقدمة بسبب إضافة اليود إلى ملح الطعام وأعلاف الحيوانات والأسمدة. ويحدث الآن فى الغالب فى المناطق التى تفتقر إلى هذه الفوائد أو الوصول إلى المأكولات البحرية، ولا سيما وسط أ فريقيا والمناطق الجبلية فى أمريكا الجنوبية وآسيا الوسطى وإندونيس يا.

الغدد الجار درقية، بسبب موقعها وحجمها الصغير، تُزال أحيانًا ع ن طريق الخطأ أثناء جراحة الغدة الدرقية أو تتحلل عندما تقطع جراحا ت الرقبة إمدادها الدموى. بدون علاج هرمونى بديل، يسبب قصور ا لغدد الجار درقية انخفاضًا سريعًا فى مستوى الكالسيوم فى الدم؛ وفى غضون يومين أو ثلاثة فقط، يمكن أن يؤدى ذلك إلى تشنج عضلى م ميت يسبب اختناقًا فى عضلات الحنجرة
)*تشنج نقص كالسيوم الدم*(. فرط نشاط الغدد الجار درقية، وهو إفراز مفرط لهرمون الغدد الجار درقية)PTH(، عادة ما يكون ناتجًا عن ورم فى الغدة الجار درقية. يسبب ذلك ليونة وتشوه وهشاشة العظام؛ وير فع مستويات الكالسيوم وأيونات الفوسفات فى الدم؛ ويعزز تكوين ح صى الكلى)حصى الكلى(المكونة من فوسفات الكالسيوم.
القسم 7.4ب يصف بشكل أعمق العلاقة بين وظيفة الغدد الجار درق ية، والكالسيوم فى الدم، ونسيج العظام.

17.7د اضطرابات الغدة الكظرية

متلازمة كوشينغ[29] هى إفراز مفرط للكورتيزول بسبب عدة أسباب: فر ط إفراز هرمون ACTH من الغدة النخامية، أو أورام تفرز ACTH، أو فر ط نشاط قشرة الغدة الكظرية بشكل مستقل عن ACTH. تؤدى متلازم ة كوشينغ إلى اضطراب فى استقلاب الكربوهيدرات والبروتينات، مما يسبب فرط سكر الدم، وارتفاع ضغط الدم، وضعف العضلات، والوذم ة. يفقد الجسم كتلة العضلات والعظام بسرعة نتيجة تحلل البروتين. يظهر بعض المرضى ترسبات دهنية غير طبيعية بين الكتفين)"حدبة ا لجاموس"(أو فى الوجه.

[29]هارفى كوشينغ)1869–1939(، طبيب أمريكى

يُسبب نقص الإفراز مشاكل قليلة إن وجدت، لكن الإفراز المفرط يسبب ضخامة الأطراف—تثخين العظام والأنسجة الرخوة، مع تأثيرات ملحوظة خاصة على اليدين والقدمين والوجه
)الشكل ٥٢.٧١(.

٧.٧١ح اضطرابات الغدة الدرقية والغدد الجار درقية

قصور الغدة الدرقية الخلقى هو نقص إفراز الغدة الدرقية منذ الولادة. يم كن أن يسبب قصور الغدة الدرقية الحاد أو المطول عند البالغين الوذمة المخاطية)MIX-eh-DEE-muh(. كلا المتلازمتين موصوفة ف ى الجدول ٧.٧١، ويمكن علاج كلاهما بهرمون الغدة الدرقية عن طريق الفم. تشوه أكثر وضوحًا، وغالبًا ما يكون ملفتًا للنظر فى الغدة الدرقية هو الدراق المتوطن)الشكل ٦٢.٧١(، الناجم عن نقص اليود الغذائى. بدون اليود، لا تستطيع الغدة تصنيع هرمون الغدة الدرقية. بدون هرمون الغدة الدرقية)TH(، لا تتلقى الغدة النخامية أى تغذية راجعة وتتصر ف كما لو أن الغدة الدرقية غير محفزة بشكل كافٍ. وكأنها تحاول تحفيزها بقوة أك بر، تفرز الغدة النخامية كمية إضافية من هرمون تحفيز الغدة الدرقية)TSH(، مما يجعل الغدة الدرقية تنتج المزيد والمزيد من الكولويد)الثيروجلوبولين(.
ومع ذلك، لا يمكن تأيود الكولويد لتكوين هرمونات الغدة الدرقية)TH(، لذا فإنه يتراكم ببساطة فى الغدة، مما يؤدى غالبًا إلى تورم مرئى فى الرقبة.



الشكل 17.26 تضخم الغدة الدرقية المتوطن.
كاران بونجيان / شترستوك

)"وجه القمر"( )الشكل 17.27(. يمكن للعلاج طويل الأمد بالهيدروكورتيزون أن
يُحدث تأثيرات مماثلة.
متلازمة الأدرينو جينيتال)AGS(، الإفراز المفرط للأندروجينات ا
لكطرية، غالبًا ما يصاحب متلازمة كوشينغ. في الأطفال، غالبًا ما تس
بب AGS تضخم القضيب أو البظر وبدء البلوغ المبكر)الشكل 17.28
.(يمكن أن تؤدي AGS قبل الولادة إلى ظهور الأعضاء التناسلية المذ
كرة عند الفتيات حديثي الولادة وخطئهن على أنهن أولاد. في النساء،
تسبب AGS تأثيرات تذكيرية مثل زيادة شعر الجسم، تعميق الصوت،
ونمو اللحية.

17.7e داء السكري

أكثر الأمراض الأيضية انتشارًا في العالم هو داء السكري، الذي يصيب
حوالي 7% من سكان الولايات المتحدة وأكثر في مناطق مثل الدول ا
لإسكندنافية وجزر المحيط الهادئ. وهو السبب الرئيسي لفقدان الب
صر لدى البالغين، والفشل الكلوي، والغنغرينا، والحاجة إلى بتر الأطرا
ف، ويتطلب مناقشة أكثر تفصيلاً مقارنة بالأمراض الصماء الأقل شيو
عًا. يتم هنا وصف مرض السكري، وينتهي الفصل بمقال عن تاريخ الأ
نسولين)انظر التعمق 17.3(.

داء السكري[30] **(DM)** هو اضطراب في أيض الكربوهيدرات، والد
هون، والبروتينات ناتج عن نقص إفراز الأنسولين أو عدم فعاليته. العلا
مات والأعراض الكلاسيكية التي غالبًا ما يقدم بها المرضى إلى الطبي
ب هي "الثلاثة بوليات":
التبول الزائد[31])زيادة كمية البول(، العطش الشديد[32])العطش الشديد(،
والأكل المفرط[33])الجوع الشديد(. يمكن لاختبارات الدم والبول تأكيد ت
شخيص داء السكري من خلال الكشف عن ثلاث علامات إضافية: فرط
سكر الدم[34])ارتفاع مستوى الجلوكوز في الدم(، وجود الجلوكوز في البو
ل[35])الجلوكوز في البول(، و وجود الكيتونات في البول)الكيتونات في ا
لبول(. سُمي داء السكري في الأصل بسبب حلاوة البول الناتجة عن وجو
د الجلوكوز في البول. قبل ظهور الاختبارات الكيميائية للجلوكوز، كان الأ
طباء يتذوقون بول المرضى كجزء من عملية التشخيص.
مطلوب بعض المعرفة بفسيولوجيا الكلى لفهم سبب حدوث الج
لوكوز في البول والتبول الزائد. تقوم الكلى بترشيح بلازما الدم وتحويل ا
لمرشح إلى بول. في الشخص السليم، تقوم أنابيب الكلى بإزالة كل ال
جلوكوز من المرشح وإعادته إلى الدم، لذلك يكون هناك قليل أو لا يوج
د جلوكوز في البول. يتبع الماء الجلوكوز والمواد الذائبة الأخرى عن طر
يق التناضح، لذا تستعيد الأنابيب معظم الماء في المرشح أيضًا.

لكن مثل أي نظام نقل آخر يتم بواسطة ناقل، هناك حد لسرعة ع
مل ناقلات الجلوكوز في الكلى.
الحد الأقصى لمعدل إعادة الامتصاص يُسمى *الحد الأقصى للنقل* T ،
m)انظر الشكل 3.16(. بسبب ارتفاع مستوى الجلوكوز في الدم في دا
ء السكري، يدخل الجلوكوز أنابيب الكلى بسرعة تتجاوز T m ولا تستط
يع الأنابيب إعادة امتصاصه بسرعة كافية.
الكمية الزائدة تمر إلى البول. الجلوكوز والكيتونات في
الأنابيب تزيد أيضًا من أسمولارية سائل الأنابيب وتسبب
الإدرار التناضحي—الماء يبقى في الأنابيب مع هذه المذاب،
لذا يتم تمرير كميات كبيرة من الماء في البول. هذا يفسر
التبول المفرط، والجفاف، والعطش في مرض السكري. الشخص المصاب بـ



الشكل 17.27 متلازمة كوشينغ. لاحظ مظهر "وجه القمر" الذي يميز هذه المتلازمة.

Biophoto Associates/Science Source



الشكل 17.28 متلازمة الأدرينو جينيتال)AGS(.هذه هي الأعضاء التناس
لية لأنثى مصابة بمتلازمة AGS، حيث تم تذكيرها بسبب الإفراز الم
فرط للأندروجينات الكظرية قبل الولادة. لاحظ التشابه بين الشفرين الك
بيرين وكيس الصفن وتضخم البظر ليشبه القضيب. يُخطئ في التعرف
على الرضع المصابين بمتلازمة AGS على أنهم أولاد ويتم تربيتهم على هذ
ا الأساس.

Medicimage RM/Medical Images

[30] *diabet* = يتدفق عبر؛ *melli* = عسل
[31] *poly* = كثير، مفرط؛ *uri* = بول
[32] *poly* = كثير، مفرط؛ *dipsia* = شرب
[33] *poly* = كثير، مفرط؛ *phagia* = أكل
[34] *hyper* = زيادة؛ *glyc* = سكر، جلوكوز؛ *emia* = حالة الدم
[35] *glyco* = جلوكوز، سكر؛ *uria* = حالة البول

كفاءة امتصاص الجلوكوز. لذلك، ليس من المستغرب أن داء السكرى م
ن النوع الثانى يمكن غالبًا إدارته بنجاح من خلال برنامج فقدان الوزن الم
كون من النظام الغذائى والتمارين الرياضية، وغالبًا ما يُضاف إليه أدوية
فموية لخفض مستوى السكر فى الدم مثل الميتفورمين وأدوية لخفض
ضغط الدم ودهون الدم. إذا ثبت أن هذه الأساليب غير كافية، يتم أيضًا ا
ستخدام العلاج بالإنسولين التكميلى. حوالى 12% من المرضى بداء ال
سكرى من النوع الثانى يعالجون بالإنسولين فقط و14% آخرون يعالجون
بالإنسولين مع أدوية خافضة للسكر الفموية)OHAs(.

المرضية

عندما لا تستطيع الخلايا امتصاص الجلوكوز، يجب أن تحصل على طا
قتها من مكان آخر؛ فهى تستقلب الدهون والبروتينات. مع مرور الوق
ت، يؤدى هذا إلى ضمور عضلى، وهزال، وضعف. قبل إدخال العلاج
بالإنسولين فى عام 1922، كان الأشخاص المصابون بداء السكرى من
النوع الأول يهزلون إلى حد مذهل)انظر التعمق 17.3(. وُصف السكر
ى فى القرن الأول بأنه "ذوبان اللحم والأطراف إلى البول". كان وزن ال
مرضى البالغين يتراوح بين 27 إلى 34 كجم)60–75 رطل(ويبدون كم
ا لو أنهم عانوا من مجاعة شديدة. كان أنفاسهم تحمل رائحة كيتونية ح
لوة غير محببة، مثل رائحة التفاح الفاسد. وصف المؤرخ الطبى مايكل
بليس مريضًا نموذجيًا بأنه "يكاد لا يستطيع رفع رأسه عن الوسادة، و
يبكى معظم الوقت من الألم والجوع واليأس". فى المرحلة النهائية، أ
صبح المرضى أكثر نعاسًا، يلهثون من أجل الهواء، يدخلون فى غيبوبة،
ويموتون خلال ساعات قليلة. كان معظم الأطفال المصابين بالسكرى
يعيشون أقل من سنة واحدة بعد التشخيص — سنة من المعاناة الق
صوى. كان هذا هو المسار الطبيعى للمرض فى القرون التى سبقت ا
لعلاج بالإنسولين.

يزيد التحلل السريع للدهون من مستويات الأحماض الدهنية الحرة فى ا
لدم ومن نواتج تحللها، وهى أجسام الكيتون)حمض الأسيتيك، الأسيتون، وح
مض β-هيدروكسى بيوتيريك(. يسبب وجود الكيتونات فى البول زيادة التبو
ل، مما يؤدى إلى فقدان Na^+ و K^+ من الجسم. يمكن أن تسبب النقص فى
الإلكتروليتات الناتج آلامًا فى البطن، وقىء، وعدم انتظام ضربات القلب، وا
ضطرابات عصبية. وبما أن الكيتونات أحماض، فإنها تخفض درجة حموضة ا
لدم وتنتج حالة تسمى الحماض الكيتونى. هذا يسبب تنفسًا عميقًا ولهاثًا ي
سمى تنفس كوسماول ، وهو مميز للسكرى فى المرحلة النهائية.
كما يثبط الجهاز العصبى ويؤدى إلى غيبوبة سكرى.
يؤدى داء السكرى أيضًا إلى أمراض تنكسية مزمنة فى القلب والأوعية الدمو
ية والجهاز العصبى — وهى علامات نادرًا ما كانت تُرى قبل العلاج بالإنسولين، عن
دما كان المرضى يموتون بسرعة كبيرة قبل أن تظهر عليهم الآثار طويلة الأمد.
من خلال آليات متعددة ومعقدة، يكون لفرط سكر الدم المزمن تأثيرا
ت مدمرة على الأوعية الدموية الصغيرة إلى المتوسطة *)الأمراض الد
قيقة للأوعية الدموية(*، بما فى ذلك *تصلب الشرايين*، وهو انسداد ا
لأوعية بواسطة لويحات من الدهون وعضلات ملساء متضخمة. كلا نو
عى داء السكرى يؤديان أيضًا إلى سماكة الغشاء القاعدى للأوعية الدم
وية، مما يتداخل مع توصيل المغذيات والهرمونات إلى الأنسجة وإزالة
نفاياتها. يؤدى هذا إلى تنكس لا رجعة فيه فى الأنسجة فى العديد من
الأعضاء. من المضاعفات الشائعة طويلة الأمد لداء السكرى العمى وا
لفشل الكلوى، الناجمين عن تنكس الشرايين فى شبكية العين والكلى
.
الوفاة بسبب فشل الكلى أكثر شيوعًا فى داء السكرى من النوع الأول
مقارنة بالنوع الثانى. فى النوع الثانى، السبب الأكثر شيوعًا للوفاة هو فشل القلب
الناتج عن مرض الشريان التاجى.
مضاعفة أخرى هى *الاعتلال العصبى السكرى*— تلف الأعصاب
الناتج عن ضعف تدفق الدم. يمكن أن يؤدى ذلك إلى ضعف الانتصاب

قد يمر مريض السكرى غير المعالج من 10 إلى 15 لترًا من البول يوميًا، مقارنة
بـ 1 أو 2 لتر فى الشخص السليم.

الأنواع والعلاج

هناك نوعان من داء السكرى: النوع الأول والنوع الثانى. كان يُطلق عليهم
ا سابقًا داء السكرى الناشئ فى سن الطفولة أو المعتمد على الإنسولين،
وداء السكرى الناشئ فى سن البلوغ أو غير المعتمد على الإنسولين، عل
ى التوالى. تم التخلى عن هذه المصطلحات لأنها مضللة. على الرغم من
أن الإنسولين يُستخدم دائمًا لعلاج النوع الأول، إلا أنه يُستخدم كثيرًا أي
ضًا لعلاج النوع الثانى، ويمكن أن يحدث أى منهما فى أى عمر. فى الواق
ع، مع تزايد مشكلة السمنة فى الطفولة، أصبح ما يقرب من نصف حالا
ت داء السكرى الجديدة فى الأطفال من النوع الثانى.
داء السكرى من النوع الأوليشكل 5% إلى 10% من الحالات فى
الولايات المتحدة. ما سببه؟ يبدأ بالعوامل الوراثية.
تم تحديد عدة جينات تجعل الشخص عرضة للإصابة بداء السكرى من
النوع الأول. ثم، عندما يصاب فرد معرض وراثيًا بعدة فيروسات)الح
صبة الألمانية، الفيروس المضخم للخلايا، أو بعض الفيروسات الأخرى
(، تهاجم بعض خلايا المناعة)خلايا T CD4 و CD8 التى نوقشت فى ا
لفصل 21(خلايا بيتا فى البنكرياس وتدمرها. إلى حد كبير، يتم تحمل
هذا التدمير ولا يسبب مرضًا، ولكن عندما يفقد 80% إلى 90% من خ
لايا بيتا، ينخفض الإنسولين إلى مستوى حرج لا يمكنه تنظيم مستوى
الجلوكوز فى الدم. هنا تبدأ مشكلة فرط سكر الدم وجميع مضاعفاته ا
لخبيثة. عادةً ما يتم تشخيص داء السكرى من النوع الأول قبل سن ال
ثلاثين، لكنه قد يحدث لاحقًا. يحتاج مرضى النوع الأول إلى الإنسولين
للبقاء على قيد الحياة — عادةً عن طريق حقن دورية أو توصيل مستم
ر تحت الجلد بواسطة مضخة إنسولين صغيرة تُرتدى على الجسم. يتو
فر الآن جهاز استنشاق إنسولين جاف، لكنه غير مناسب لجميع المر
ضى. تخطيط الوجبات، والتمارين الرياضية، والمراقبة الذاتية لمستوى
الجلوكوز فى الدم هى أيضًا جوانب مهمة من نظام العلاج.

ومع ذلك، فإن حوالى ٠٩٪ إلى ٥٩٪ من الأشخاص المصابين بالسكرى لديهم النوع
داء السكرى من النوع الثانى، والعديد من الأشخاص الآخرين فى مرحلة ما ق
بل السكرى. هنا، المشكلة الرئيسية ليست نقص الإنسولين، بل *مقاومة الإ
نسولين* — عدم استجابة الخلايا المستهدفة للهرمون. قد يكون مستوى الإن
سولين فى الواقع مرتفعًا جدًا فى المرحلة المبكرة من المرض، على الرغم من
أنه يميل لاحقًا إلى الانخفاض إلى مستويات طبيعية أو أقل من الطبيعية. م
رة أخرى، الوراثة هى واحدة من الأسباب، على الرغم من أنه لا يمكن إلقاء اللو
م على جين واحد، أو حتى عدد قليل فقط، فى المرض؛ فهناك ما يقرب من
100 جين معروف حتى الآن يرفع من خطر الإصابة بداء السكرى من النوع ال
ثانى. هناك اختلافات كبيرة فى الانتشار من مجموعة عرقية إلى أخرى؛ فهو م
رتفع نسبيًا، على سبيل المثال، بين الأشخاص من السكان الأصليين الأمري
كيين، والأمريكيين اللاتينيين، والآسيويين. كما أن له ميلًا للانتشار فى العائلا
ت، ويظهر توافقًا عاليًا بين التوائم المتطابقة وراثيًا — إذا أصيب أحد التوأم
ين بداء السكرى من النوع الثانى، فهناك أكثر من 90% احتمال أن يصاب الآ
خر أيضًا. عوامل الخطر المهمة الأخرى هى العمر، السمنة، ونمط الحياة الخام
ل. كل هذه ترافقها الاستبدال التدريجى للأنسجة العضلية بالدهون.تلعب الع
ضلات دورًا مهمًا للغاية فى امتصاص الجلوكوز من الدم وتحجيم مستوى ال
سكر فى الدم، لذلك مع تناقص كتلة العضلات، يصبح الشخص أقل قدرة ع
لى تنظيم مستوى السكر فى الدم.
يتطور داء السكرى من النوع الثانى ببطء وعادة ما يتم تشخيصه
بعد سن 40، لكنه أصبح أكثر انتشارًا بين الشباب بسبب السمنة الم
بكرة. بعيدًا عن فقدان دور العضلات فى تحجيم الجلوكوز، هناك عامل
واضح آخر فى داء السكرى من النوع الثانى وهو أن الأنسجة الدهنية
تفرز إشارات كيميائية تتداخل بشكل غير مباشر مع نقل الجلوكوز إلى
معظم الخلايا — فكلما زاد دهون الجسم، قلّت

[٦٣]أدولف كوسماول)٢٢٨١–٢٠٩١(، طبيب المانى

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

28. اشرح بعض أسباب نقص إفراز الهرمونات، وقدم أمثلة. افعل الشيء نفسه لزيادة الإفراز.
29. لماذا يؤدى نقص اليود الغذائى إلى زيادة إفراز الهرمون المنشط للغدة الدرقية)TSH(؟ لماذا تتضخم الغدة الدرقية فى التورم الغدى المتوطن؟
30. فى داء السكرى، اشرح سلسلة الأحداث التى تؤدى إلى)أ(الإدرار ا لبولى الاسموزى،)ب(الحماض الكيتونى والغيبوبة، و)ح(الغرغ رينا فى الأطراف السفلية.

ضعف الوظيفة، سلس البول، وفقدان الإحساس من المناطق المتأثرة فى الجسم. يؤدى مرض الأوعية الدقيقة فى الجلد إلى ضعف التئام الجروح الجلدية، لذا حتى الجرح الطفيف يصبح بسهولة قرحيًا، مصابًا، وغانغرينياً. هذا شائع بشكل خاص فى القدمين، لأن الناس يولون إصابات القدم اهتمامًا أقل؛ الدورة الدموية أضعف فى القدمين)الأبعد عن القلب(مقارنة بأى مكان آخر؛ الضغط على القدمين يجعلها عرضة بشكل خاص لإصابة الأنسجة؛ وقد يجعل الاعتلال العصبى الشخص غير مدرك لآفات الجلد أو مترددًا فى الموافقة على بتر أصابع القدم، أو أكثر، التى لا يشعر فيها بالألم.
داء السكرى يفوق جميع الأسباب الأخرى لبتر الأطراف الغنغرينية.
داء السكرى ليس النوع الوحيد من السكرى. تم ذكر داء السكرى ا لبولى، وهو مرض لا علاقة له بالأنسولين، فى هذا الفصل، وتُناقش الأ شكال الأخرى مع الجهاز البولى فى الفصل ٣٢.

الجدول ٧.٧١ — بعض اضطرابات الجهاز الصماء

مرض أديسون[37]	نقص إفراز الجلوكوكورتيكويدات والمينيرالوكورتيكويدات الكظرية، مما يسبب نقص سكر الدم، انخفاض ضغط الدم، فقدان الوزن الضعف، فقدان مقاومة الإجهاد، اسمرار الجلد، الجفاف، نقص صوديوم الدم)نقص الصوديوم(، واختلالات أخرى فى الكهارل؛ قد يؤدى نقص المينيرالوكورتيكويدات والكهارل إلى الوفاة بسرعة.
قصور الغدة الدرقية الخلقى	نقص إفراز هرمون الغدة الدرقية الموجود منذ الولادة، مما يؤدى إلى تأخر النمو الجسدى، وسمك ملامح الوجه انخفاض درجة حرارة الجسم، الخمول، وتلف دماغى لا رجعة فيه فى مرحلة الطفولة
فرط الأنسولين	زيادة الأنسولين الناتجة عن فرط إفراز جزر لانجرهانز أو حقن الأنسولين الزائد، مما يسبب نقص سكر الدم، الضعف، الجوع، وأحيانًاصدمة الأنسولين، التى تتميز بالارتباك، التشنجات، أو فقدان الوعى
الوذمة المخاطية	متلازمة تحدث فى حالات قصور الغدة الدرقية الحاد أو المزمن لدى البالغين، وتتميز بانخفاض معدل الأيض، الكسل والنعاس، زيادة الوزن، الإمساك، جفاف الجلد والشعر، الحساسية غير الطبيعية للبرد، وتورم الأنسجة
ورم القواتم	ورم فى نخاع الغدة الكظرية يفرز كميات زائدة من الأدرينالين والنورأدرينالين. يسبب ارتفاع ضغط الدم، زيادة معدل الأيض، العصبية، عسر الهضم، فرط سكر الدم، والجلوكوز فى البول.
تضخم الغدة الدرقية السام)م رض جريفز(	تضخم الغدة الدرقية وفرط إفرازها، يحدث عندما تحاكى الأجسام المضادة الذاتية تأثير هرمون تحفيز الغدة الدرقية)T SH(وتُفرط فى تحفيز الغدة الدرقية. يؤدى ذلك إلى ارتفاع معدل الأيض ومعدل ضربات القلب، العصبية، الأرق، فقدان الوزن، الحساسية غير الطبيعية للحرارة والتعرق، ونتوء العينين)الجحوظ(الناتج عن تراجع الجفن واحتقان أنسجة الحجاج.

يمكنك العثور على اضطرابات أخرى فى الجهاز الصماء موصوفة فى الأماكن التالية:

تضخم الأطراف، متلازمة الأدرينوجينيتال، متلازمة كوشينغ، السكرى الكاذب، داء السكرى، تضخم الغدة الدرقية المتوطن، ضخامة النخامية وقزامة، وفرط ونقص نشا ط الغدة الجار درقية فى القسم 17.7ح؛ السكرى الحملى فى القسم 23.6ب؛ ومتلازمة عدم حساسية الأندروجين فى القسم المتعمق 27.1.

[٧٣] توماس أديسون)١٧٩٣–١٨٦٠(، طبيب إنجليزى



نظرة أعمق ٣.٧١

التاريخ الطبى

اكتشاف الأنسولين

فى بداية القرن العشرين، كان الأطباء يشعرون بالعجز تقريبًا أمام داء السكرى. كانو ا يضعون المرضى على حميات غير مجدية — مثل ما يسمى بعلاج الشوفان، وعلا ج البطاطا، وغيرها — أو على حميات جوع تصل إلى ٤٥٠ سعرًا حراريًا فى اليوم ح تى لا "يضغطوا على النظام". كانوا مستسلمين لحقيقة أن مرضاهم محكوم عليهم بالموت، ويبدو أن الجوع البسيط ينتج أقل معاناة.

بعد أن تم تتبع سبب السكرى إلى جزر البنكرياس فى عام ١٩٠١، حاول الباحثو ن الأوروبيون علاج المرضى والحيوانات التجريبية بمستخلصات البنكرياس، لكنهم أصيبوا بالإحباط بسبب

الآثار الجانبية الشديدة للشوائب فى المستخلصات. لم تكن لديهم الموارد لمتابعة المشكلة حتى نهايتها، وبحلول عام ١٩١٣، أظهرت الأوساط العلمية علامات على ا لتخلى عن مرض السكرى.
لكن فى عام ١٩٢٠، أصبح فريدريك بانتينغ)١٨٩١–١٩٤١(، طبيب كندى شاب يعانى من ممارسة طبية متعثرة، مهتمًا بطريقة محتملة لعزل جزر البنكرياس واخ تبار مستخلصات الجزر فقط. عاد إلى جامعته الأم، جامعة تورونتو، ليعرض فكرته على الأستاذ ج. ج. ر. ماكلويد)١٨٧٦–١٩٣٥(، وهو سلطة رائدة فى استقلاب الكر بوهيدرات. لم يكن ماكلويد متأثرًا بـ

من الكلاب التى كان من المقرر أن تصبح مصابة بالسكرى. ماتت العديد من الكلا ب بسبب فرط التخدير، والعدوى، والنزيف الناتج عن تقنية بانتينغ الجراحية غير ا لماهرة. كما كان بانتينغ مهملًا فى قراءة بياناته وتفسير النتائج، ولم يكن مهتمًا كثي رًا بقراءة الأدبيات لمعرفة ما يفعله الباحثون الآخرون. فى أول منشور لبانتينغ وب ست فى أوائل عام 1922، كانت البيانات فى مناقشتهم تتعارض مع البيانات فى الجداول، وكلاهما كان يتعارض مع البيانات فى دفاتر المختبر الخاصة بهم. لم تكن هذه علامات على باحثين واعدين.

على الرغم من أنفسهم، حقق بانتينغ وبست نتائج إيجابية متواضعة خلال الص يف. أعادت المستخلصات الخام كلبًا واحدًا من غيبوبة السكرى وخفضت فرط س كر الدم والجلوكوز فى البول لدى آخرين. مدفوعًا بهذه النتائج، طالب بانتينغ براتب، ومختبر أفضل، ومساعد آخر. حصل ماكلود على رواتب للثنائى على مضض، لكن بانتينغ بدأ يكره ماكلود بسبب خلافهما حول مطالبه، ونشأ بينهما احتقار متبادل م ع تقدم المشروع.

النجاح والصراع

أدخل ماكلود الكيميائى الحيوى ح. ب. كوليب)1892–1965(إلى المشروع فى خر يف عام 1921 على أمل أن يتمكن من إنتاج مستخلصات أنقى. كان كوليب أكثر كفاءة فى العلوم التجريبية، وكان أول من أظهر أن مستخلصات البنكرياس يمكن أ ن تقضى على الكيتوز وتعيد قدرة الكبد على تخزين الجليكوجين. حصل على نتائج أ فضل وأفضل فى الأرانب المصابة بالسكرى حتى أنه بحلول يناير 1922، شعر الفر يق بأنه جاهز للتجارب البشرية. كان بانتينغ سعيدًا بوجود كوليب فى الفريق فى ال بداية، لكنه أصبح شديد الغيرة منه لأن كوليب لم يحقق فقط نتائج أفضل منه، بل طور أيضًا علاقة أوثق مع ماكلود.

كان بانتينغ، الذى لم يكن لديه مؤهلات لإجراء تجارب على البشر، يخشى أن يتم د فعه جانبًا مع انتقال المشروع إلى مرحلته السريرية. فى إحدى المرات، تصاعد التو تر بين بانتينغ وكوليب إلى شجار كاد يتحول إلى ملاكمة فى المختبر.

أصر بانتينغ على أن يتم إجراء أول تجربة بشرية بمستخلص أعده هو وبست، و ليس مستخلص كوليب. كان المريض صبى يبلغ من العمر 14 عامًا يزن فقط 29 كجم)65 رطلًا(وكان على وشك الموت. تم حقنه فى 11 يناير بمستخلص بانتينغ و بست، الذى وصفه أحد المراقبين بأنه "مادة بنية سميكة". كانت التجربة فاشلة وم حرجة، مع انخفاض طفيف فقط فى سكر دم الصبى ورد فعل شديد تجاه الشوائب فى المستخلص. فى 23 يناير، عولج نفس الصبى مرة أخرى، لكن بمستخلص كو ليب الأنظف. هذه المرة، تم القضاء تقريبًا على الكيتونوريا والجلوكوز فى البول وان خفض سكر دمه بنسبة 77%. كانت هذه أول تجربة سريرية ناجحة للإنسولين. عول ح ستة مرضى آخرين فى فبراير 1922 وسرعان ما أصبحوا أقوى وأكثر يقظة وفى حالة معنوية أفضل. فى أبريل، بدأ فريق تورنتو فى تسمية المنتج الإنسولين، وفى مؤتمر طبى فى مايو، قدموا أول تقرير عام مهم عن نجاحهم.

شعر بانتينغ بأنه أصبح مهمشًا بشكل متزايد من المشروع. توقف عن الحضور إلى المختبر، وأصبح يشرب بكثرة، وكان يحلم بالابتعاد عن أبحاث السكرى للعمل على السرطان. بقى فقط لأن بست توسل إليه للبقاء. أدار بانتينغ لفترة وجيزة عياد ة خاصة للسكرى، لكن الجامعة سرعان ما استعادته بتعيين براتب وامتيازات فى ا لمستشفى خوفًا من إحراجه بسبب إبعاد مكتشف الإنسولين.

كان لدى بانتينغ عدد من الحالات الناجحة البارزة فى عام 1922، مثل إليزابيث هيوز البالغة من العمر 14 عامًا، التى كانت تزن فقط 20 كجم)45 رطلًا(قبل العلا ح. بدأت العلاج فى أغسطس وأظهرت تحسنًا فوريًا ودراماتيكيًا. كانت فتاة نشيط ة ومتفائلة ومتحدثة بطلاقة، وكانت تحتفظ بمذكرات حماسية عن سماحها لأول م رة منذ بداية مرضها بتناول الخبز والبطاطس والمعكرونة بالجبن. كتبت بحماس إ لى والدتها: "أوه، هذا الشيء ببساطة رائع لا يوصف بالكلمات"، على الرغم من أن ا لمستخلصات التى لا تزال غير نقية تسببت لها فى ألم وتورم كبيرين. سرعان ما اح تاح العالم

كان بانتينغ يرى أن معرفته بأدبيات مرض السكرى والمنهج العلمى سطحية. ومع ذلك، شعر أن فكرة بانتينغ تستحق المتابعة واعتقد أنه بتدريبه الجراحى العسكرى قد يتمكن من إحراز تقدم حيث فشل الآخرون. عرض على بانتينغ مساحة فى المخ تبر خلال الصيف، مما منحه فرصة هامشية لاختبار فكرته. كان بانتينغ مترددًا فى ا لقبول، ولكن عندما أنهت خطيبته ارتباطهما وفشل عرض عمل بديل، أغلق عياد ته الطبية، وانتقل إلى تورونتو وبدأ العمل. لم يكن أى من الرجلين يدرك أنهما بعد عامين سيشتركان فى جائزة نوبل ومع ذلك سيكرهان بعضهما البعض لدرجة أنهما بالكاد يتحدثان.

بداية متواضعة

نصح ماكلويد بانتينغ بخطة تجريبية للهجوم وأعطاه مساعداً، تشارلز بيست)1899 –1978( )الشكل 17.29(. كان بيست قد حصل للتو على درجة البكالوريوس فى ع لم وظائف الأعضاء وكان يتطلع إلى وظيفة صيفية مثيرة مع بانتينغ قبل بدء الدرا سات العليا. خلال صيف عام 1921، أزالوا البنكرياس من الكلاب لجعلها مصابة بالسكرى وربطوا قنوات البنكرياس فى كلاب أخرى لجعل معظم البنكرياس يتحلل مع ترك الجزر سليمة. كانت خطتهم علاج الكلاب المصابة بالسكرى بمستخلصات مصنوعة من البنكرياسات المتحللة للكلاب الأخرى.

كان ذلك عملاً صعباً. فى المختبر، تم تخصيص مكان صغير وقذر وساخن للغا ية على السطح للحيوانات، وكان ينبعث منه رائحة روث الكلاب. كانت قنوات البن كرياس الصغيرة صعبة جداً فى الربط، وكان من الصعب التأكد مما إذا تمت إزالة كل نسيج البنكرياس.



الشكل 17.29 فريدريك بانتينغ)يمين(وتشارلز بست.
يظهران أمام مختبرهما على السطح فى جامعة تورنتو، مع أحد الكلاب المس تخدمة فى أبحاثهما.

صور تاريخ العلوم / الامى ستوك فوتو

إلى التجارب السريرية على البشر، ومع ذلك، تم تجاهلها من قبل لجنة نوبل.

باعتباره أول حاصل على جائزة نوبل فى كندا، استمتع بانتينغ بمكانته كبطل و طنى. لكنه جعل الحياة فى الجامعة لا تطاق لماكلويد، الذى غادر فى عام 1928 لى قبل منصبًا جامعيًا فى اسكتلندا. بقى بانتينغ فى تورونتو. وعلى الرغم من ثرائه الآ ن وحوله طلاب معجبون، لم يحقق أى إنجاز علمى مهم لبقية حياته المهنية. قُتل فى حادث تحطم طائرة عام 1941. حل بيست محل ماكلويد فى هيئة التدريس ف ى تورونتو، وقاد مسيرة متميزة، وطور مضاد التخثر الهيبارين. واصل كوليب لعب دور رئيسى فى عزل هرمونات PTH وACTH وغيرها.

جعل الإنسولين من شركة إيلى ليلى وشركاه عملاقًا صناعيًا. أصبح أول بروتين يتم تحديد تسلسل أحماضه الأمينية، والتى حصل فريدريك سانجر بسببها على جا ئزة نوبل فى عام 1958. لم يعد مرضى السكرى اليوم يعتمدون على إمدادات محد ودة من الإنسولين المستخرج من بنكرياس الأبقار والخنازير. الإنسولين البشرى م توفر الآن بكميات كبيرة، ويتم تصنيعه بواسطة بكتيريا مهندسة وراثيًا. ومن المفار قات، أنه بينما قلل الإنسولين بشكل كبير من المعاناة الناتجة عن داء السكرى، فق د زاد من عدد الأشخاص الذين يعانون من المرض—لأن مرضى السكرى بفضل ا لإنسولين أصبحوا قادرين على العيش لفترة كافية لتكوين أسر وتمرير الجينات الم سؤولة عن القابلية للإصابة بالسكرى.

الطريق إلى تورونتو يتوسل من أجل الإنسولين. دخلت شركة إيلى ليلى وشركاه فى اتفاق مع جامعة تورونتو
لإنتاج الإنسولين على نطاق واسع، وبحلول خريف عام 1923، كان أكثر من 25,000 مريض يتلقون العلاج فى أكثر من 60 عيادة فى كندا والولايات المتحدة.

ثمار النجاح المرة

استعاد بانتينغ ثقته بنفسه. لقد أصبح بطلاً وطنياً، وقامت البرلمان الكندى بمنحه منحة سخية تكفل له حياة مريحة. رشح عدة علماء فسيولوجيا باررين بانتينغ وماك لويد لجائزة نوبل لعام 1923، وفازا بها. عندما تم الإعلان عن الجائزة، كان بانتينغ غا ضبًا من اضطراره لمشاركتها مع ماكلويد. فى البداية، هدد برفضها، لكن عندما هدأ ، أعلن أنه سيقسم نصيبه من المال مع بيست. وأعلن ماكلويد بسرعة أن نصف ن صيبه سيذهب إلى كوليب.

من المثير للاهتمام، أن عالم الفسيولوجيا الرومانى نيكولاى باوليسكو)1869–1931(نجح فى عزل الإنسولين)الذى أطلق عليه اسم البنكريين(وعلاج الكلاب المصابة بالسكرى به فى عام 1916، قبل سنوات من أن يبدأ بانتينغ عمله. نشر باوليسكو أربع أوراق بحثية عنه فى أبريل 1921، قبل 8 أشهر من نشر بانتينغ وبيست أول ورقة لهما، وحصل على براءة اختراع لطريقته فى عزل الإنسولين فى أبريل 1922. لم تتقدم أعمال باوليسكو



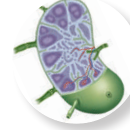
اتصالات النظام

تأثيرات الجهاز الصماء
على أنظمة الأعضاء الأخرى

جميع الأنظمة
يتأثر نمو الأنسجة ومعظم عمليات الأيض بهرمون النمو، والأنسولين، وعوامل النمو الشبيهة بالأنسولين، وهرمون الغدة الدرقية، والجلوكوكورتيكويدات.



الجهاز الجلدى
تؤثر الهرمونات الجنسية على
تصبغ الجلد، وتطور شعر الج
سم والغدد الأبوكرينية، وترس
يب الدهون تحت الجلد.



الجهاز اللمفاوى والمناعى
تنشط هرمونات الغدة الزعترية الخلايا المناعية؛
تثبط الجلوكوكورتيكويدات
المناعة والالتهاب.



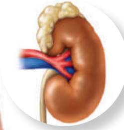
الجهاز الهيكلى
ينظم نمو الهيكل العظ
مى وصيانته العديد
من الهرمونات—الكالسى
تونين، الكالسيتريول، هر
مون الغدة الجار درقية،
هرمون النمو، الإس
تروجين، التستوستيرو
ن، وغيرها.



الجهاز التنفسى
يوسع الإبينفرين و
النورإبينفرين
الشُعب الهوائية الصغيرة ويزيدان
تدفق الهواء الرئوى.



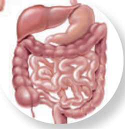
الجهاز العضلى
هرمون النمو والتستوس
تيرون يحفزان نمو العضلا
ت؛ الإنسولين ينظم امتصا
ص الجلوكوز بواسطة العضلا
ت؛ هرمونات أخرى تنظم توازن
الإلكتروليتات التى تُعد مه
مة فى انقباض العضلات.



الجهاز البولى
ينظم هرمون مضاد الإدرار
حجم البول؛ ينظم الكالسيتريول،
هرمون الغدة الجار درقية،
الألدوستيرون، والببتيدات
المدرة للبول امتصاص الإلكتروليتات
بواسطة الكليتين.



الجهاز العصبى
تُمارس الهرمونات تثبيطًا س
لبيًا على الوطاء؛ تؤثر عدة هرم
ونات على تطور الجهاز الع
صبى، المزاج، والسلوك؛ تنظم الهرمو
نات توازن الإلكتروليتات ال
تى تعد مهمة فى وظيفة الخلايا ا
لعصبية.



الجهاز الهضمى
الأنسولين والجلوكاجون
ينظمان تخزين المغذيات والأيض
؛ الهرمونات المعوية تتحكم فى إفر
ازات الجهاز الهضمى وحر
كته؛ الببتيدات المعوية-الدماغ
ية تؤثر على الشهية وتنظم تناول ا
لطعام ووزن الجسم.



الجهاز الدورى
ينظم الأنجيوتنسين II، الألدو
ستيرون، هرمون مضاد الإدرار، الب
تيدات المدرة للبول، وهرمونات أخ
رى حجم الدم والضغط؛ يحفز ا
لإريثروبويتين إنتاج كريات الدم الحمراء؛
تحفز هرمونات الغدة الزعترية إنتاج كريا
ت الدم البيضاء؛ يحرض الثروم
بوبويتين إنتاج الصفائح الدموية؛ يؤثر ا
لإبينفرين، هرمون الغدة الدرقية، وهر
مونات أخرى على معدل وقوة ضربات الق
لب.



الجهاز التناسلى
الهرمونات المنشطة للجو
ناد والستيرويدات الجنسية
تنظم التطور الجنسى، وتكوين الحيوا
نات المنوية والبويضات، ودورا
ت المبيض والرحم، والدافع الجن
سى، والحمل، وتطور الجنين، والر
ضاعة.

دليل الدراسة

قيّم نتائج تعلمك

لاختبار معرفتك، ناقش المواضيع التالية مع شريك دراسة أو كتابةً، ويفضل من الذاكرة.

17.1 نظرة عامة على الجهاز الصماء

1. أهمية التواصل بين الخلايا للبقاء، وآليات الجسم الأربع للتواصل بين الخلايا
2. المصطلح العام للخلايا والغدد التي تفرز الهرمونات، واسم ذلك الفرع من العلوم والطب الذي يتخصص في الهرمونات
3. كيف تختلف الغدد الصماء عن الغدد الخارجية الإفراز
4. التشابهات والاختلافات والتفاعلات بين الجهاز العصبي والجهاز الصماء
5. المصطلح المستخدم للأعضاء أو الخلايا التي تتأثر بهرمون معين، ولماذا هي الوحيدة التي تستجيب له رغم أن الهرمون ينتقل في جميع أنحاء الجسم

٢.٧١ الوطاء والغدة النخامية

1. لماذا يجب اعتبار الوطاء جزءًا من الجهاز الصماء
2. العلاقة التشريحية بين الوطاء والغدة النخامية؛ الجزأين الرئيسيين من الغدة النخامية؛ وكيف يتواصل الوطاء مع كل منهما
3. ستة هرمونات يفرزها الوطاء لتنظيم الغدة النخامية الأمامية، وتأثيراتها
4. هرمونان يُنتجان في الوطاء ويُخزنان في الغدة النخامية الخلفية؛ كيف يصلان إلى الغدة النخامية؛ وكيف يتم التحكم في إطلاقهما لاحقًا إلى مجرى الدم
5. ستة هرمونات تُفرزها الغدة النخامية الأمامية، اختصاراتها، وأعضاؤها المستهدفة ووظائفها
6. هرمونان يُفرزان من الغدة النخامية الخلفية، اختصاراتهما، أعضاؤهما المستهدفة وتأثيراتهما، ودور الانعكاسات العصبية الصمائية في إطلاقهما
7. أمثلة وآليات التحكم بالتغذية الراجعة الإيجابية والسلبية للوطاء والغدة النخامية
8. أفعال هرمون النمو (GH) ودور عوامل النمو الشبيهة بالأنسولين في تأثيراته

17.3 الغدد الصماء الأخرى

1. تشريح الغدة الصنوبرية؛ تراجعها؛ وهرمونها ووظيفتها
2. تشريح الغدة الزعترية؛ تراجعها؛ وهرموناتها ووظائفها
3. تشريح الغدة الدرقية؛ هرموناتها ووظائفها؛ والخلايا التي تُنتج كل هرمون
4. تشريح الغدد الجار درقية؛ هرموناتها ووظائفها
5. تشريح الغدد الكظرية، والفروقات الهيكلية بين القشرة والنخاع
6. هرمونات ووظائف نخاع الغدة الكظرية
7. ثلاث مناطق نسيجية في قشرة الغدة الكظرية، هرمونات كل منطقة، ووظائفها
8. جزر البنكرياس وأنواع خلاياها، الهرمونات، ووظائفها
9. المكونات الصماء للمبيضين والخصيتين، وهرموناتهم ووظائفهم
10. الهرمونات التي تُنتجها الأنسجة والأعضاء التالية، وتأثيراتها: الجلد، الكبد، الكلى، القلب، الجهاز الهضمي، النسيج الدهني، النسيج العظمي، والمشيمة

17.4 الهرمونات وأفعالها

1. ثلاث فئات كيميائية رئيسية من الهرمونات وأمثلة على كل منها
2. تخليق الهرمونات الستيرويدية
3. تخليق الهرمونات الببتيدية مثل الإنسولين
4. حمضان أمينيان يعملان كمقدمات للهرمونات والهرمونات التي تُنتج من كل منهما
5. أنواع المحفزات التي تؤدي إلى إفراز الهرمونات وأمثلة على كل منها
6. تخليق وإفراز هرمون الغدة الدرقية
7. المشكلة التي يجب التغلب عليها لنقل هرمون الغدة الدرقية (TH) والهرمونات الستيرويدية في الدم، وكيف يؤثر آلية النقل على نصف عمرها
8. مكان وجود مستقبلات الهرمونات في الخلايا المستهدفة، والاختلافات بين أنظمة المستقبلات للهرمونات المحبة للماء والهرمونات الكارهة للماء
9. أي الهرمونات تحتاج إلى رسائل ثانية لتنشيط الخلية المستهدفة؛ وكيف تعمل الرسائل الثانية، خاصة cAMP وDAG وIP3
10. كيف يمكن لتضخيم الإشارة أن يمكّن كميات صغيرة من الهرمون من إحداث تأثيرات فسيولوجية كبيرة
11. كيف تقوم الخلايا المستهدفة بتعديل حساسيتها للهرمونات
12. ثلاثة أنواع من التفاعلات التي يمكن أن تحدث عندما يؤثر اثنان أو أكثر منها في نفس الوقت على خلية مستهدفة
13. كيف يتم تعطيل الهرمونات وإزالتها من الدم بعد إتمام مهمتها

17.5 الإجهاد والتكيف

1. التعريف الفسيولوجي أو الطبي لـ *الإجهاد*
2. تعريف استجابة *الإجهاد (متلازمة التكيف العامة)*
3. المراحل الثلاث لاستجابة الإجهاد؛ الهرمونات السائدة والآثار الفسيولوجية لكل مرحلة؛ وما يميز الانتقال من مرحلة إلى أخرى

17.6 الإيكوسانويدات وجزيئات الإشارة الأخرى

1. الإفرازات الجانبية والذاتية، أمثلة، وكيفية مقارنتها وتباينها مع الهرمونات
2. الهيكل العام والمقدمة الأيضية للإيكوسانويدات
3. تخليق وتأثيرات الليكوترينات
4. تخليق وتأثيرات المنتجات الثلاثة لإنزيم السيكلوكسيجيناز (COX): البروستاسايكلين، الثرومبوكسانات، والبروستاجلاندينات
5. كيفية تسمية البروستاجلاندينات

٧.٧١ الاضطرابات الصمائية

1. تأثيرات نقص وفرط إفراز هرمون النمو، وكيف تختلف التأثيرات بين البالغين ومرحلة الطفولة
2. الوذمة المخاطية، الدراق المتوطن، والدراق السمي
3. تأثيرات نقص وفرط نشاط الغدة الجار درقية
4. متلازمة كوشينغ ومتلازمة الأدرينوجينتال
5. "الثلاث بوليات" لمرض السكري (DM)، وثلاثة نتائج سريرية تؤكد عادة تشخيص السكري
6. آلية الجلوكوز في البول والإدرار الاسموزي النموذجي لمرض السكري؛ كيف يرتبط هذا بالحد الأقصى للنقل (T_m) للنقل المعتمد على الحامل
7. الاختلافات بين سبب، مرضية، وعلاج النوعين الأول والثاني من داء السكري
8. عواقب داء السكري غير المعالج بشكل كافٍ ولماذا تحدث كل من تأثيراته المرضية العديدة

دليل دراسة

اختبار استدعائك

الإجابات فى الملحق أ

1. إفراز CRH *لن* يرفع تركيز الدم من
أ. ACTH.
ب. ثيروكسين.
ج. كورتيزول.
د. كورتيكوستيرون.
هـ. جلوكوز.

2. أى من الهرمونات التالية لها أقل قواسم مشتركة مع البقية؟
أ. هرمون قشر الكظر المنشط (الأدرينوكورتيكوتروبيك)
ب. هرمون تحفيز الجريبات
ج. ثيروتروبين
د. ثيروكسين
هـ. برولاكتين

3. أى هرمون لن يتم إفرازه إذا تم تدمير المسار الوطاءى-النخامى؟
أ. أوكسيتوسين
ب. هرمون تحفيز الجريبات
ج. هرمون النمو
د. هرمون قشر الكظر المنشط (الأدرينوكورتيكوتروبيك)
هـ. كورتيكوستيرون

4. أى مما يلى *ليس* هرمونًا؟
أ. برولاكتين
ب. هرمون مثبط البرولاكتين
ج. غلوبولين ربط الثيروكسين
د. الببتيد المدر للبول الأذينى
هـ. الكورتيزول

5. أين تقع مستقبلات الأنسولين؟
أ. فى خلايا بيتا البنكرياسية
ب. فى بلازما الدم
ج. على غشاء الخلية المستهدفة
د. فى سيتوبلازم الخلية المستهدفة
هـ. فى نواة الخلية المستهدفة

6. ما هى نتيجة وجود خلل فى مستقبلات هرمون مضاد لإدرار البول (ADH)؟
أ. داء السكرى
ب. متلازمة الغدة الكظرية التناسلية
ج. الجفاف
د. اضطراب العاطفة الموسمية
هـ. لا شىء من هذه

7. أى من هذه يحتوى على نسيج خارج إفرازى أكثر من النسيج الصم؟
أ. الغدة الصنوبرية
ب. الغدة النخامية الأمامية (الغدة النخامية الغدية)
ج. الغدة الدرقية
د. البنكرياس
هـ. الغدة الكظرية

8. أى من هذه الخلايا تحفز ترسيب العظام؟
أ. الخلايا ألفا
ب. الخلايا بيتا
ج. الخلايا ح
د. الخلايا ح
هـ. الخلايا ت

9. أى من هذه الهرمونات يعتمد على cAMP كرسول ثانٍ؟
أ. ACTH
ب. البروجستيرون
ج. ثيروكسين
د. التستوستيرون
هـ. الإستروجين

10. البروستاجلاندينات مشتقة من
أ. فوسفوليباز.
ب. سيكلوأوكسيجيناز.
ج. اللوكوترايين.
د. ليبوأوكسيجيناز.
هـ. حمض الأراكيدونيك.

11. يتطور من جيب فى ال ـــــــ بلعوم الجنين.

12. يتم تصنيع الثيروكسين (T_4) من خلال دمج جزيئين مؤولين من الحمض الأمينى ـــــــ.

13. فرط إفراز هرمون النمو فى مرحلة البلوغ ى سبب مرضًا يسمى ـــــــ.

14. الهرمون السائد فى مرحلة مقاومة استجابة الإجهاد هو ـــــــ.

15. الستيرويدات الكظرية التى تنظم أيض الجلوكوز تُسمى مجتمعة ـــــــ.

16. يتم إفراز التستوستيرون بواسطة ـــــــ الخلايا الخصية.

17. يمكن للخلايا المستهدفة تقليل إفراز الغدة النخامية من خلال عملية تسمى ـــــــ.

18. تُنقل عوامل الإفراز من الوطاء إلى الغدة النخامية الأمامية عبر شبكة من الأوعية الدموية تسمى ـــــــ.

19. يقال إن الهرمون له تأثير/تأثيرات ـــــــ عندما يحفز الخلية المستهدفة على تطوير مستقبلات لهرمونات أخرى لاحقًا.

20. ـــــــ هى عملية تزيد فيها الخلية عدد مستقبلاتها لهرمون معين، مما يزيد من حساسيتها واستجابتها للهرمون.

دليل الدراسة

بناء مفرداتك الطبية

الإجابات فى الملحق أ

اذكر معنى كل عنصر من عناصر الكلمة، وقدم مصطلحًا طبيًا من هذا الفصل يستخدمه أو تعديلًا طفيفًا له.

1. أديپُو-
2. كولى-
3. ديابيت-
4. إيكوزا-
5. لوتيو-
6. -ويد
7. -وزا
8. pro-
9. تروبو-
10. -يورى

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

الإجابات فى الملحق أ

اشرح بإيجاز لماذا كل من العبارات التالية خاطئة، أ و أعد صياغتها لتصبح صحيحة.

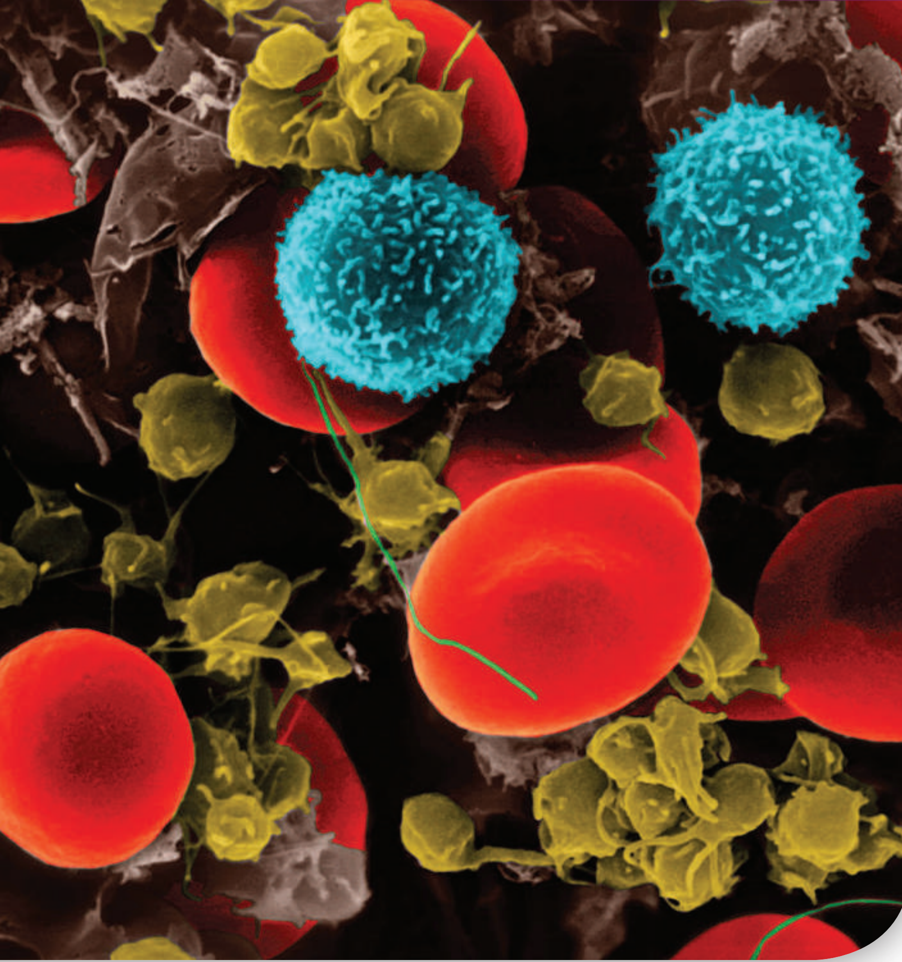
1. الخصى يقلل من تركيز الغونادوتروبين فى دم الرجل.
2. المستقبلات لهرمونات الجليكوبروتين عادة ما تكون فى سيتوبلازم الخلية المستهدفة أو نواتها.
3. لا يمكن تخليق الثيروجلوبولين بدون اليود.
4. الورم فى غدة صماء يؤدى دائمًا إلى فرط إفراز هرموناتها.
5. جميع الهرمونات تفرزها الغدد الصماء فق ط.
6. الغالبية العظمى من حالات داء السكرى ناتجة عن نقص الأنسولين.
7. الغدة الصنوبرية والغدة الزعترية أكبر فى البا لغين منها فى الأطفال.
8. نقص اليود فى النظام الغذائى يؤدى إلى تث بيط سلبى لتكوين هرمون TSH.
9. النسيج فى مركز الغدة الكظرية يُسمى المنطقة ا لشبكية (zona reticularis).
10. من بين الغدد الصماء التى تم تناولها فى ه ذا الفصل، الغدد الكظرية فقط هى زوجية؛ أما ا لبقية فهى مفردة.

اختبار فهمك

1. اقترح نموذجًا لتضخيم الإشارة لتأثير هرمون ستيرويدى وارسم مخططًا مشابهًا للشكل 17.21 لنموذجك. قد يساعدك مراجعة تخلي ق البروتين فى الفصل 4.
2. افترض أنك تتصفح فى متجر للأغذية الصحية ورأيت منتجًا معلنًا: "صنع حدًا لأمراض القلب. هذا الدواء العشبى سيخلص جسمك من ال كوليسترول!" هل ستشتريه؟ ولماذا؟ إذا كان المنتج فعالًا كما يُدعى، ما هى بعض التأثيرا ت الأخرى التى قد يسببها؟
3. الشخص المصاب بتضخم الغدة الدرقية السمى يم يل إلى التعرق الشديد. فسّر ذلك من حيث التوازن الداخلى (التوازن الحيوى).
4. كيف يشبه عمل هرمون الببتيد عمل النا قل العصبى نورإيبينفرين؟
5. شاب يتعرض لحادث دراجة نارية يؤدى إلى كسر فى عظم الوتدى. بعد فترة وجيزة، يبدأ فى إفراز كميات ها ئلة من البول، تصل إلى 30 لترًا فى اليوم، ويعا نى من عطش شديد. طبيبه العصبى يشخص المشكلة على أنها داء السكرى الكا ذب. اشرح كيف أدى إصابته فى الرأس إلى هذه التأثيرات على وظيفة التبول والعطا ش. لماذا يكون كسر العظم الوتدى أكثر اح تمالًا من كسر عظم القذالى أن يسبب داء ال سكرى الكاذب؟ ما هو خلل الهرمونات الناتج عن هذا الحادث؟ هل تتوقع وجود جلوكوز مرتفع فى بول هذا ا لمريض السكرى؟ لماذا أو لماذا لا؟

CHAPTER 18

THE الجهاز الدورى الدم



خلايا الدم الحمراء)أقراص حمراء مقعرة(، خلايا الدم البيضاء)زرقاء(، الصفائح الدموية)خضراء(، وخيوط بروتين التجلط الفيبرين)رمادية( )مجهر إلكترونى مسحى(
مكتبة الصور العلمية / صورة آلامى

مخطط الفصل

رؤى أعمق



Module 9: Cardiovascular System

يتكون الجهاز الدورى من القلب، والأوعية الدموية، والدم. يشير مصط لح الجهاز القلبى الوعائى[1] فقط إلى القلب والأوعية، وهما موضوع ال فصلين التاليين. دراسة الدم، التى تُعالج فى هذا الفصل، تُسمى علم ا لدم.[2]

18.1a أغراض دوران الدم

الغرض الأساسى من الجهاز الدورى هو نقل المواد من مكان إلى آخر فى الجسم. الدم هو الوسط السائل الذى تنتقل فيه هذه المواد، وتضمن الأوعية الدموية التوجيه الصحيح للدم إلى وجهاته، والقلب هو المضخة التى تحافظ على تدفق الدم.

بشكل أكثر تحديدًا، وظائف الجهاز الدورى هى كما يلى:

النقل

- يحمل الدم الأكسجين من الرئتين إلى جميع أنسجة الجسم، بينم ا يلتقط ثانى أكسيد الكربون من تلك الأنسجة ويحمله إلى الرئتين ليتم إزالته من الجسم.
- يلتقط الدم المغذيات من الجهاز الهضمى ويوصلها إلى جمي ع أنسجة الجسم.
- يحمل الفضلات الأيضية إلى الكليتين لإزالتها.
- يحمل الهرمونات من الخلايا الصماء إلى الأعضاء المستهدفة.
- ينقل مجموعة متنوعة من الخلايا الجذعية من نخاع العظم وأصول أخرى إلى الأنسجة حيث تستقر وتنضج.

الحماية

- يلعب الدم عدة أدوار فى الالتهاب، وهو آلية للحد من انتشار الع دوى.
- تدمر خلايا الدم البيضاء الكائنات الدقيقة وخلايا السرطان وتزي ل الحطام من الأنسجة.
- الأجسام المضادة وبروتينات الدم الأخرى تعادل السموم وتساعد ع لى تدمير مسببات الأمراض.
- ترتبط خلايا الدم الحمراء بالمستضدات الأجنبية وتنقلها إلى الكبد والطحال للتخلص منها.
- تفرز الصفائح الدموية عوامل تبدأ تجلط الدم وعمليات أخرى لت قليل فقدان الدم، وتساهم فى نمو الأنسجة وصيانة الأوعية الدم وية.

التنظيم

- من خلال امتصاص أو إفراز السوائل تحت ظروف مختلفة، تعمل الشعيرات الدموية على استقرار توزيع السوائل فى الجسم.
- من خلال موازنة الأحماض والقواعد، تعمل بروتينات الدم على استقرار درجة الحموضة لسوائل خارج الخلية.
- تدفق الدم الجلدى مهم للغاية فى تبديد الحرارة الأيضية من الجسم. تنظم التحولات فى تدفق الدم درجة حرارة الجسم عن طريق توجيه الدم إلى الجلد لفقدان الحرارة أو الاحتفاظ به أعمق فى الجسم للحفاظ على الحرارة.

بالنظر إلى أهمية نقل المغذيات والنفايات والهرمونات، وخاصة ا لأكسجين، بكفاءة من مكان إلى آخر، من السهل فهم سبب كون فقدا ن الدم المفرط مميتًا بسرعة، ولماذا يحتاج الجهاز الدورى إلى آليات ل تقليل مثل هذه الخسائر.

[1] *قلب* = القلب؛ *وعاء دموى* = الوعاء الدموى

[2] *دم، دموى* = الدم؛ *علم* = دراسة

مراجعة

- البروتينات المرتبطة والمجموعات البروستيتية مهمة لفهم تركيب اله يموغلوبين وخصائص ارتباطه بالأكسجين)انظر القسم 2.4e(.
- واحدة من أهم الخصائص الفيزيائية للدم هى التوتر الاسموزى. راجع الضغط الاسموزى والتوتر الاسموزى فى القسم 3.3c وفى الملحق ب.
- فهم جيد لأنواع الدم، ومرض الخلايا المنجلية، والهيموفيليا يعتمد على معرفة الأليلات السائدة والمتنحية، الأنماط الجينية المتجانسة وغير المتجانسة، الأليلات المتعددة، والارتباط الجنسى)انظر الأقسام 4.4b–4.4e).

لطالما كان للدم هالة خاصة من الغموض. منذ القدم، رأى الناس الدم يتدفق من الجسم، ومعه حياة الفرد. ليس من المستغرب أن يُعتقد أ ن الدم يحمل "قوة حيوية" غامضة. كان الرومان القدماء يشربون دم المصار عين الساقطين اعتقادًا منهم أنهم يمكن أن يكتسبوا حيوية المصارع أو أن ذلك قد يشفى من الصرع. وحتى اليوم، نشعر بقلق خاص عندما نجد أنفس نا ننزف، والتأثير العاطفى للدم يجعل بعض الناس يُغمى عليهم عند رؤيته. من مصر القديمة إلى أمريكا فى القرن التاسع عشر، كان الأطباء يستنزفون "الدم الفاسد" من مرضاهم لعلاج كل شىء من النقرس إلى تقلصات الحي ض، ومن الصداع إلى الأمراض العقلية. كان يُعتقد لفترة طويلة أن الصفات الوراثية تنتقل عبر الدم، ولا يزال الناس يستخدمون تعبيرات غير مؤسسة أو مجازية مثل "لدى ربع دم شيروكى".

لم يكن معروفًا شىء ذو معنى عن الدم حتى تم رؤية خلاياه باستخدام أ ول المجاهر. على الرغم من أن الدم نسيج يمكن الوصول إليه بشكل فريد، فإن معظم ما نعرفه عنه يعود فقط إلى منتصف القرن العشرين. لقد مكن ت التطورات الحديثة فى هذا المجال من إنقاذ وتحسين حياة عدد لا يحص ى من الأشخاص الذين كانوا سيعانون أو يموتون لولا ذلك.

18.1 الجوانب العامة للدم

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

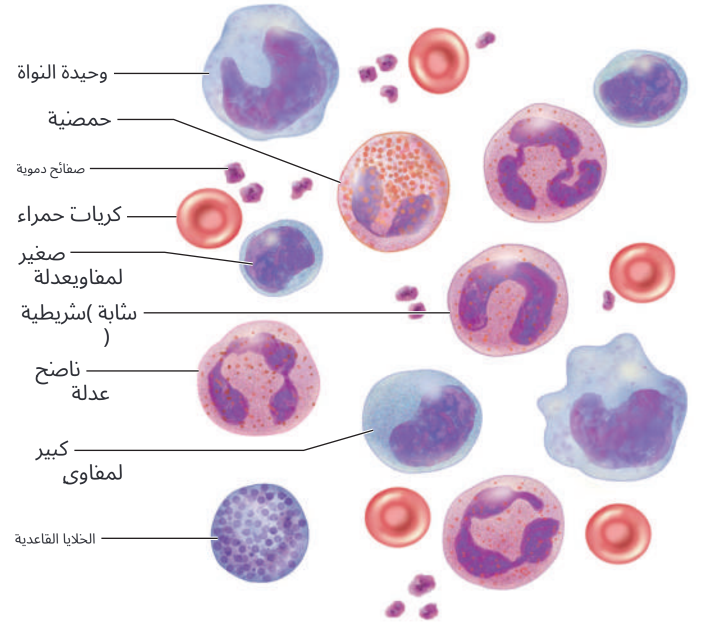
أ. وصف وظائف ومكونات الجهاز الدورى الرئيسية؛

ب. وصف مكونات وخصائص الدم الفيزيائية؛

ج. وصف تركيب بلازما الدم؛

د. اشرح أهمية لزوجة الدم والتناضح؛ و

هـ. وصف بشكل عام كيف يتم إنتاج الدم.



الشكل 18.1 العناصر المشكلة للدم.

حدد جميع العناصر المشكلة غير الموسومة بالمقارنة مع العناصر الموسومة.

18.1ب مكونات وخصائص الدم العام ة

يحتوى البالغون عمومًا على حوالى 4 إلى 6 لترات من الدم. وهو نسيج ضام سائل يتكون، مثل الأنسجة الضامة الأخرى، من خلايا ومصفوفة خارج خلوية. المصفوفة هى بلازما الدم، وهى سائل شفاف أصفر فا تح يشكل قليلاً أكثر من نصف حجم الدم. معلقة فى البلازما هى العنا صر المُشكّلة — الخلايا وقطع الخلايا بما فى ذلك كريات الدم الحمراء، وكريات الدم البيضاء، والصفائح الدموية)الشكل 18.1(. يشير مصطل ح العناصر المُشكّلة إلى حقيقة أن هذه أجسام معلقة بغشاء ولها بنية محددة يمكن رؤيتها بالمجهر. وبشكل دقيق، لا يمكن تسميتها جميعًا خلايا لأن الصفائح الدموية، كما سيُشرح لاحقًا، هى مجرد شظايا ممز قة من بعض خلايا نخاع العظم.

تصنف العناصر المُشكّلة كما يلى:

كريات الدم الحمراء[3])كريات الدم الحمراء، RBCs(

كريات الدم البيضاء[4])كريات الدم البيضاء، WBCs(

الخلايا الحبيبية

العدلات

الحمضات

القاعديات

خلايا غير حبيبية

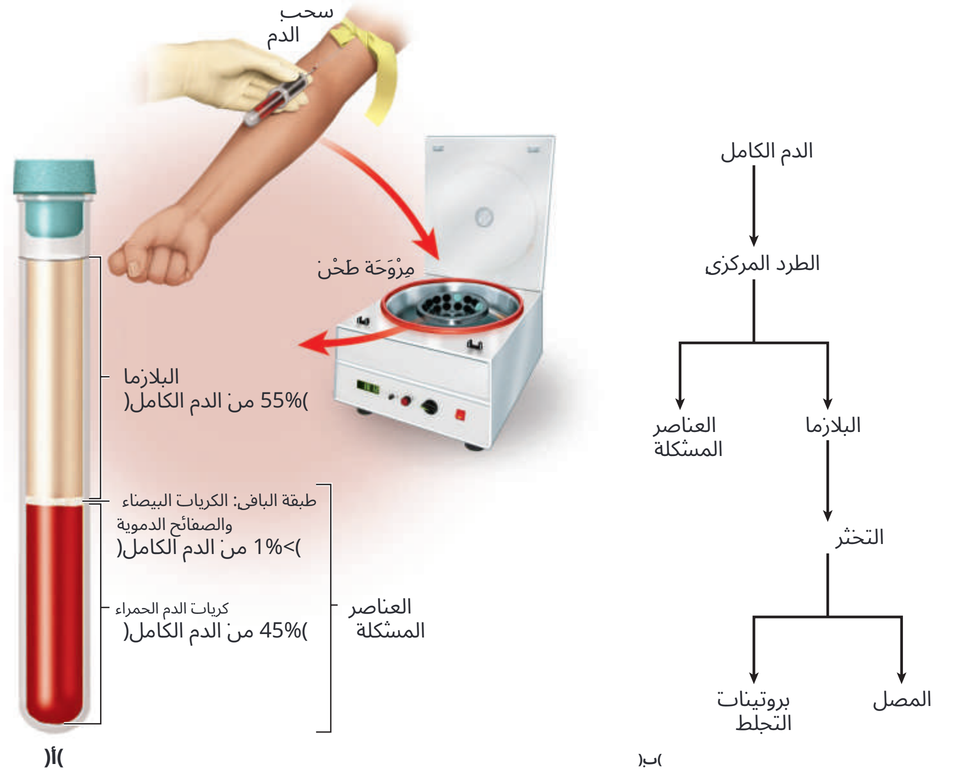
الخلايا اللمفاوية

الوحيدات

الصفائح الدموية

لذا، هناك سبعة أنواع من العناصر المشكلة: كريات الدم الحمراء، وخمسة أنواع من كريات الدم ال بيضاء، والصفائح الدموية. تُقسم أنواع كريات الدم ال بيضاء الخمسة إلى فئتين، *الحبيبيات* و *غير الحبيبيا ت*، وذلك لأسباب سيتم شرحها لاحقًا.

تجزئة الدم، وهى فصل الدم إلى مكوناته الأسا سية، تعتمد على الطرد المركزى والتخثر)الشكل 1 8.2(. أولاً، يتم تدوير عينة من الدم فى أنبوب داخ ل جهاز الطرد المركزى لبضع دقائق. تستقر كريات الدم الحمراء، وهى العناصر الأكثر كثافة، فى قاع الأ نبوب وتشكل عادةً 37% إلى 52% من الحجم الكل ى — وهى قيمة تُسمى الهيماتوكريت أو حجم ال خلايا المعبأة. تستقر كريات الدم البيضاء والصفائح الدموية فى منطقة ضيقة ذات لون كريمى أو م صفر تُسمى *الطبقة الرغوية* فوق كريات الدم الحم راء؛ ويشكلون معًا 1% أو أقل من حجم الدم. فى أعلى الأنبوب يوجد البلازما، التى تشكل حوالى 47% إلى 63% من حجم الدم. إذا تم فصل البلازما ، وسُمح لها بالتخثر)التجلط(، ثم تم تدويرها مرة أخ رى فى الطرد المركزى، تستقر بروتينات التخثر)وخ اصة الفيبرين(فى قاع الأنبوب، والسائل المتبقى يُسمى مصل الدم. المصل ذو قيمة سريرية كوس يط للقاحات، مضادات السموم، وعلاجات أخرى؛ لبعض اختبارات الدم،



الشكل 18.2 مكونات الدم.)أ(طرد عينة من الدم لفصل العناصر المشكلة عن البلازما و تحديد الهيماتوكريت.)ب(تجزئة الدم إلى عناصر مشكلة، بلازما، ومصل.

[3] *أريثرو* = أحمر؛ *سايت* = خلية
[4] *ليوكو* = أبيض؛ *سايت* = خلية

الجدول 18.1	الخصائص العامة للدم
الخاصية	**القيم النموذجية للبالغين الأصحاء***
متوسط نسبة وزن الجسم	8%
الحجم في جسم البالغ	الأنثى: 4–5 لتر؛ الذكر: 5–6 لتر
الحجم/وزن الجسم	80–85 مل/كغ
درجة الحرارة المتوسطة	38 درجة مئوية (100.4 فهرنهايت)
درجة الحموضة (pH)	7.35–7.45
اللزوجة (مقارنةً بالماء)	الدم الكامل: 4.5–5.5؛ البلازما: 2.0
الأسمولارية	280–296 ملوس/لتر
متوسط الملوحة (أساسًا NaCl)	0.9%
الهيماتوكريت (حجم الخلايا المضغوطة)	الإناث: 37% إلى 48% الذكور: 45% إلى 52%
الهيموغلوبين	الإناث: 12–16 جم/دل الذكور: 13–18 جم/دل
عدد كريات الدم الحمراء	الإناث: 4.2–5.4 مليون/ميكرولتر الذكور: 4.6–6.2 مليون/ميكرولتر
عدد الصفائح الدموية	130,000–360,000/µL
إجمالي عدد كريات الدم البيضاء	٥٠٠٠–١٠٠٠٠/ميكرولتر

*تختلف القيم قليلاً حسب طرق الفحص المستخدمة.

مثل التهاب الكبد وسرطان البروستاتا؛ وللعديد من الاستخدامات السريرية و المخبرية البحثية.

الجدول 18.1 يسرد عدة خصائص للدم. بعض المصطلحات في ذلك الجدول سيتم تعريفها لاحقًا في الفصل.

▶▶▶ طبق ما تعرفه

استنادًا إلى وزنك، قدّر حجم (باللترات) ووزن (بالكيلوجرامات) دمك الخاص، باستخدام البيانات في الجدول 18.1.

18.1c بلازما الدم

على الرغم من أن بلازما الدم لا تمتلك تشريحًا يمكننا دراسته بصريًا، إلا أننا لا يمكننا تجاهل أهميتها كمصفوفة لهذا النسيج الضام السائل. البلازما هي مزيج معقد من الماء، والبروتينات، والمغذيات، والإلكتروليتات، والنفايات النيتروجينية، والهرمونات، والغازات (الجدول 18.2). البروتين هو أكثر المذاب في البلازما وفرةً من حيث الوزن، حيث يتراوح بين 6 إلى 9 جم/ديسيلتر. تلعب بروتينات البلازما أدوارًا متنوعة تشمل التجلط، والدفاع ضد الممرضات، ونقل مذابات أخرى مثل الحديد، والنحاس، والدهون، والهرمونات الكارهة للماء. هناك ثلاث فئات رئيسية من بروتينات البلازما: الألبومين، والجلوبيولينات، والفيبرينوجين (الجدول 18.3). العديد من بروتينات البلازما الأخرى ضرورية للبقاء على قيد الحياة، لكنها تشكل أقل من 1% من الإجمالي.

الألبومين هو أصغر وأشهر بروتين في البلازما. يعمل على نقل مختلف المذاب وتعديل درجة حموضة بلازما الدم. كما يساهم بشكل كبير في خاصيتين فيزيائيتين رئيسيتين

الجدول 18.2	تركيب بلازما الدم
مكون الدم*	**القيم النموذجية للبالغين الأصحاء**
الماء	٩٢٪ بالوزن
البروتينات	الإجمالي 6–9 جم/ديسيلتر
الألبومين	60% من إجمالي البروتين، 3.2–5.5 جم/ديسيلتر
الجلوبيولينات	36% من إجمالي البروتين، 2.3–3.5 جم/ديسيلتر
الفيبرينوجين	4% من إجمالي البروتين، 0.2–0.3 جم/ديسيلتر
المغذيات	
الجلوكوز (الدكستروز)	70–110 ملغ/ديسيلتر
الأحماض الأمينية	33–51 ملغم/ديسيلتر
اللاكتات	6–16 ملغم/ديسيلتر
الدهون الكلية	450–850 ملغم/ديسيلتر
الكوليسترول	120–220 ملغم/ديسيلتر
الأحماض الدهنية	190–420 ملغم/ديسيلتر
البروتين الدهني عالي الكثافة (HDL)	30–80 ملغم/ديسيلتر
البروتين الدهني منخفض الكثافة (LDL)	62–185 ملغ/ديسيلتر
الدهون الثلاثية (الدهون المحايدة)	40–150 ملغ/ديسيلتر
الفوسفوليبيدات	6–12 ملغ/ديسيلتر
الحديد	50–150 ميكروغرام/ديسيلتر
العناصر النزرة	آثار
الفيتامينات	آثار
الإلكتروليتات	
الصوديوم (Na^+)	135–145 mEq/L
الكالسيوم (Ca^{2+})	9.2–10.4 mEq/L
البوتاسيوم (K^+)	3.5–5.0 mEq/L
المغنيسيوم (Mg^{2+})	1.3–2.1 mEq/L
الكلوريد (Cl^-)	100–106 mEq/L
بيكربونات (HCO_3^-)	23.1–26.7 mEq/L
فوسفات (HPO_4^{2-})	1.4–2.7 mEq/L
كبريتات (SO_4^{2-})	0.6–1.2 mEq/L
النفايات النيتروجينية	
اليوريا	10–20 mg/dL
حمض اليوريك	1.5–8.0 ملغم/ديسيلتر
الكرياتينين	0.6–1.5 ملغم/ديسيلتر
الكرياتين	0.2–0.8 ملغم/ديسيلتر
الأمونيا	0.02–0.09 ملغم/ديسيلتر
البيليروبين	0–1.0 ملغم/ديسيلتر
مكونات أخرى	
ثاني أكسيد الكربون المذاب (CO_2)	2.62 مل/دل
أكسجين مذاب (O_2)	0.29 مل/دل
نيتروجين مذاب (N_2)	0.98 مل/دل
إنزيمات ذات قيمة تشخيصية	—
الهرمونات	—

*هذا الجدول يقتصر على المواد ذات الصلة الأكبر بهذا الفصل والفصول اللاحقة. التركيزات تشير إلى البلازما فقط، وليس إلى الدم الكامل.

هذه النفايات تُطرح عادةً عن طريق الكلى بمعدل يوازن بين إنتاجها.

تنقل البلازما أيضًا المغذيات التى تم امتصاصها من الجهاز اله ضمى، بما فى ذلك الجلوكوز، الأحماض الأمينية، الدهون، الكوليسترو ل، الفسفوليبيدات، الفيتامينات، والمعادن. كما تنقل الأكسجين المذ اب، وثانى أكسيد الكربون، والنيتروجين)انظر الجدول 18.2(. عادةً لا يكون للنيتروجين المذاب دور فسيولوجى فى الجسم)ولكن انظر التعم ق 22.5(.
الإلكتروليتات هى مكون مهم آخر فى بلازما الدم. تشكل أيونات ا لصوديوم حوالى 90% من الكاتيونات فى البلازما.
الصوديوم أكثر أهمية من أى مذاب آخر فى تحديد أسمولارية الدم. و بذلك، له تأثير كبير على حجم الدم وضغطه؛ وغالبًا ما يُنصح الأشخاص الذين يعانون من ارتفاع ضغط الدم بتقليل تناولهم للصوديوم. يتم تن طيم تركيزات الإلكتروليتات بعناية من قبل الجسم وتحافظ على ثبات نسبى فى البلازما.

18.1د لزوجة الدم والأسمولارية

خاصيتان مهمتان للدم — اللزوجة والأسمولارية — تنشآن من العنا صر المشكلة وتركيب البلازما. اللزوجة هى مقاومة السائل للجريان، ا لناتجة عن تماسك جزيئاته. وبشكل عام، هى سمك أو لزوجة السائل. عند درجة حرارة معينة، يكون زيت المعادن أكثر لزوجة من الماء، على سبيل المثال، والعسل أكثر لزوجة من زيت المعادن.

الدم الكامل لزجته من 4.5 إلى 5.5 مرات أكثر من الماء، ويرجع ذلك أ ساسًا إلى كريات الدم الحمراء؛ أما البلازما وحدها فلزجتها ضعف الماء مرتين، ويرجع ذلك أساسًا إلى البروتينات الموجودة فيها. اللزوجة مه مة فى وظيفة الدورة الدموية لأنها تتحكم جزئيًا فى تدفق الدم عبر الأو عية الدموية. نقص كريات الدم الحمراء أو البروتين يقلل من اللزوجة و يسبب تدفق الدم بسهولة مفرطة، فى حين أن الزيادة تسبب تدفق ا لدم ببطء شديد. أى من هاتين الحالتين يضع ضغطًا على القلب قد يؤ دى إلى مشاكل قلبية وعائية خطيرة إذا لم يتم تصحيحه.

الأسمولارية للدم، وهى عامل مهم آخر فى وظيفة القلب والأوعية الدموية، تشير إلى التركيز الكلى لجزيئات المذاب. لكى تغذى الخلايا ا لمحيطة وتزيل نفاياتها، يجب أن تمر المواد بين مجرى الدم وسائل الأ نسجة عبر جدران الشعيرات الدموية. يعتمد هذا الانتقال للسوائل عل ى توازن بين ترشيح السائل من الشعيرات الدموية وامتصاصه مرة أخ رى عن طريق الأسموزية)انظر القسم 20.3ح(.

معدل الامتصاص يعتمد على الأسمولارية النسبية للدم مقابل سائل ا لأنسجة. إذا كانت أسمولارية الدم مرتفعة جدًا، يمتص مجرى الدم كم ية كبيرة من الماء. هذا يرفع حجم الدم، مما يؤدى إلى ارتفاع ضغط الد م وضغط محتمل خطير على القلب والشرايين. وإذا انخفضت الأسمو لارية إلى مستوى منخفض جدًا، يبقى الكثير من الماء فى الأنسجة. تصبح الأنسجة منتفخة)وذمية(وقد ينخفض ضغط الدم إلى مستويا ت خطيرة بسبب فقدان الماء من مجرى الدم.

لذلك من المهم أن يحافظ الدم على أسمولارية مثالية. الأسمولار ية فى الدم هى ناتج بشكل رئيسى عن أيونات الصوديوم، والبروتين، و كريات الدم الحمراء. مساهمة البروتين فى الضغط الاسموزى للدم — المسمى الضغط الاسموزى الغروانى)COP(— مهمة بشكل خاص، كما نرى من تأثيرات الحميات الغذائية منخفضة البروتين للغاية)انظر نظرة أعمق 18.1(.

البروتينات الرئيسية فى بلازما الدم	الجدول 18.3
البروتينات	**الوظائف**
الألبومين)60%(*	مسؤول عن الضغط الاسموزى الغروانى؛ م ساهم رئيسى فى لزوجة الدم؛ ينقل الدهون، وا لهرمونات، والكالسيوم، وغيرها من المذاب؛ يع مل كعازل لدرجة حموضة الدم
الجلوبيوليات)36%(*	وظائف النقل والدفاع كما هو مفصل أد ناه
ألفا)α(جلوبوليات	
هابتوغلوبولين	ينقل الهيموغلوبين الذى يطلقه كريات الدم الح مراء الميتة
سيرولوبلازمين	ينقل النحاس
بروثرومبين	يعزز تجلط الدم
أخرى	تنقل الدهون، الفيتامينات الذائبة فى الدهون، و الهرمونات
بيتا)β(جلوبوليات	
ترانسفيرين	ينقل الحديد
بروتينات المتممة	تساعد فى تدمير السموم والكائنات الدقيقة
أخرى	تنقل الدهون
غلوبيوليات جاما)γ(	أجسام مضادة؛ تحارب مسببات الأمراض
فيبرينوجين)٤٪(*	يتحول إلى فيبرين، المكون الرئيسى لجلطا ت الدم

*النسبة المتوسطة من إجمالى بروتين البلازما بالوزن

خصائص الدم: لزوجته والضغط الاسموزى، نوقشت باختصار. من خلا ل تأثيراته على هذين المتغيرين، يمكن أن تؤثر التغيرات فى تركيز الأ لبومين بشكل كبير على حجم الدم، الضغط، وتدفقه. الجلوبيوليات تنقسم إلى ثلاث فئات فرعية؛ من الأصغر إلى الأكبر فى الوزن الجزيئى ، وهى الألفا)α(، بيتا)β(، وجاما)γ(جلوبيوليات. تلعب الجلوبيولينا ت أدوارًا مختلفة فى نقل المذاب، التخثر، والمناعة. الفيبرينوجين هو سلف قابل للذوبان لـ الفيبرين، وهو بروتين لزج يشكل إطارًا لجلطة ا لدم. بعض البروتينات الأخرى فى البلازما هى إنزيمات تشارك فى عم لية التخثر.

ينتج الكبد ما يصل إلى 4 جرامات من بروتين البلازما فى الساعة، مساهماً بجميع البروتينات الرئيسية باستثناء جلوبيوليات جاما. تأتى جلوبيوليات جاما من *خلايا البلازما* — وهى خلايا نسيج ضام تنحدر من خلايا الدم البيضاء المسماة *الخلايا اللمفاوية ب*)*B lymphocytes*(.

▶▶▶ طبق ما تعرفه
كيف يمكن لمرض مثل سرطان الكبد أو التهاب الكبد أن يؤدى إلى ضعف تخثر الدم؟

بالإضافة إلى البروتين، يحتوى بلازما الدم على مركبات تحتوى ع لى النيتروجين مثل الأحماض الأمينية الحرة والنفايات النيتروجينية. ا لنفايات النيتروجينية هى نواتج نهائية سامة لعملية الهدم الأيضى. وأ كثرها وفرة هو *اليوريا*، وهى ناتج لهدم الأحماض الأمينية.

الأنسجة التى تُنتج خلايا الدم تُسمى الأنسجة المكونة للدم. أول الأنسجة المكونة للدم فى جنين الإنسان تتشكل فى *كيس المح (yolk sac)*، وهو غشاء مرتبط بجميع أجنة الفقاريات. فى معظم الفقاريات (الأسماك، البرمائيات، الزواحف، والطيور)، يغلف هذا الكيس صفار البيضة، وينقل مغذياته إلى الجنين النامي، وينتج السلف الأول لخلايا الدم الأولى. حتى الحيوانات التى لا تبيض، لديها كيس مح يحتفظ بوظيفته المكونة للدم. (كما أنه مصدر الخلايا التى تنتج لاحقًا البويضات والحيوانات المنوية.) تتشكل تجمعات خلوية تُسمى *جزر الدم* هنا بحلول الأسبوع الثالث من تطور الإنسان. تنتج هذه الجزر خلايا جذعية بدائية تهاجر إلى الجنين نفسه وتستوطن فى نخاع العظم، والكبد، والطحال، والغدة الزعترية (التيموس). هنا، تتكاثر الخلايا الجذعية وتعطى خلايا الدم طوال فترة التطور الجنينى.

يتوقف الكبد عن إنتاج خلايا الدم حوالى وقت الولادة. يتوقف الطحال عن إنتاج خلايا الدم الحمراء بعد ذلك بوقت قصير، لكنه يستمر فى إنتاج اللمفاويات طوال الحياة.

منذ الطفولة فصاعدًا، ينتج نخاع العظم الأحمر جميع الأنواع السبعة من العناصر المشكلة، بينما تُنتج اللمفاويات أيضًا فى الأنسجة والأعضاء اللمفاوية—وخاصة الغدة الزعترية، اللوزتين، العقد اللمفاوية، الطحال، والأغشية المخاطية.

تُسمى عملية تكوين الدم فى نخاع العظم والأعضاء اللمفاوية، على التوالى، تكوّن الدم النخاعى[6] وتكوّن الدم اللمفاوى.

جميع العناصر المشكلة تعود أصولها إلى نوع مشترك من الخلايا الجذعية المكونة للدم (HSC) فى نخاع العظم. فى مصطلحات الخلايا الجذعية فى الفصل ٥، تُصنف HSCs كخلايا جذعية متعددة القدرات، مهيأة لتتطور إلى أنواع متعددة من الخلايا الناضجة. تتكاثر HSCs للحفاظ على عدد صغير لكنه مستمر فى نخاع العظم، لكن بعضها يتطور ليصبح مجموعة متنوعة من الخلايا المتخصصة تُسمى وحدات تكوين المستعمرات (CFUs). كل وحدة CFU مهيأة لإنتاج فئة معينة من العناصر المشكلة. تُوصف العمليات المحددة التى تؤدى من HSC إلى خلايا الدم الحمراء، وخلايا الدم البيضاء، والصفيحات الدموية فى نقاط لاحقة من هذا الفصل.

تتطلب بلازما الدم أيضًا استبدالًا مستمرًا. تتكون بشكل رئيسى من الماء، الذى تحصل عليه أساسًا من الامتصاص من الجهاز الهضمى. كما تُكتسب إلكتروليتها ومغذياتها العضوية هناك، وتأتى الغلوبولينات غاما من خلايا البلازما فى النسيج الصام، وباقى بروتيناتها بشكل رئيسى من الكبد.

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

1. حدد على الأقل اثنين من وظائف النقل، الحماية، والتنظيم لجهاز الدوران.
2. ما هما المكونان الرئيسيان للدم؟
3. اذكر الفئات الثلاث الرئيسية لبروتينات البلازما. أى منها غائب عن مصل الدم؟
4. عرف لزوجة الدم وتوتره الاسموزى. اشرح لماذا كل منهما مهم لبقاء الإنسان.
5. ماذا يعنى تكوين الدم (تكوّن خلايا الدم)؟ بعد الولادة، ما هو نوع الخلية الواحدة التى تمثل نقطة البداية لجميع عمليات تكوين الدم؟



نظرة أعمق 18.1

التطبيق السريرى

الجوع ونقص بروتينات البلازما

يمكن أن تؤدى عدة حالات إلى نقص بروتينات البلازما (نقص البروتين فى الدم): الجوع الشديد أو نقص البروتين الغذائى، أمراض الكبد التى تعيق تخليق البروتين، وفقدان البروتين عبر البول أو سطح الجسم فى حالات أمراض الكلى والحروق الشديدة على التوالى. مع انخفاض محتوى البروتين فى بلازما الدم، ينخفض أيضًا الضغط الاسموزى لها. يفقد مجرى الدم المزيد من السوائل إلى الأنسجة أكثر مما يعيد امتصاصه عن طريق الاسموز. وهكذا، تصبح الأنسجة متورمة وقد يتجمع سوائل فى تجويف البطن — وهى حالة تسمى الاستسقاء (ascites) (انظر التعمق 20.4).

الأطفال الذين يعانون من نقص حاد فى البروتين الغذائى غالبًا ما يظهرون حالة تسمى الكواشيوركور (kwashiorkor) (الشكل 18.3). تكون الذراعان والساقان هزيلتين بسبب نقص العضلات، والجلد لامع ومشدود مع وذمة، ويكون البطن منتفخًا بسبب الاستسقاء. الكواشيوركور هى كلمة غانية تعنى "طفل مخلوع" أو "مُزاح عنه" لم يعد يرضع من الثدى. تظهر الأعراض عندما يتم فطام الطفل ويُوضع على نظام غذائى يتكون أساسًا من الأرز أو الحبوب الأخرى. غالبًا ما يموت الأطفال المصابون بالكواشيوركور بسبب الإسهال والجفاف.



الشكل 18.3 طفل مصاب بالكواشيوركور. لاحظ الأطراف النحيفة والبطن المنتفخ بالسوائل.

مصدر العلوم/IMTSSA/CNRI

APR ١.٨١e كيف يُنتج الدم

نفقد الدم باستمرار، ليس فقط بسبب النزيف ولكن أيضًا لأن خلايا الدم تكبر وتموت ومكونات البلازما تُستهلك أو تُطرح من الجسم. لذلك، يجب علينا استبداله باستمرار. يوميًا، ينتج البالغ عادةً ٤٠٠ مليار صفيحة دموية، ٢٠٠ مليار خلية دم حمراء، و١٠ مليار خلية دم بيضاء. يُسمى إنتاج الدم، وخاصة عناصره المشكلة، تكوّن الدم[5] (هى-مات-وه-بوى-إيسيس).

توفير معرفة بهذه العملية يشكل أساسًا لا غنى عنه لفهم اللوكيميا، فقر الدم، واضطرابات الدم الأخرى.

[5] *hemato* = الدم؛ *poiesis* = التكوين

[6] *myel* = نخاع العظم

18.2 كريات الدم الحمراء

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمالك لهذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. مناقشة تركيب ووظيفة كريات الدم الحمراء (RBCs)؛
ب. وصف تركيب ووظيفة الهيموغلوبين؛
ج. ذكر وتعريف بعض القياسات السريرية لكمية كريات الدم الحمراء والهيموغلوبين؛
د. وصف دورة حياة كريات الدم الحمراء؛ و
هـ. سمِّ ووصف أنواع وأسباب وتأثيرات فرط ونقص كريات الدم الحم راء.

كريات الدم الحمراء (كريات الدم الحمراء)، لها وظيفتان رئيسيتان: (1) التقاط الأكسجين من الرئتين وتوصيله إلى الأنسجة فى أماكن أخرى، و(2) التقاط ثانى أكسيد الكربون من الأنسجة وتفريغه فى الرئتين. كر يات الدم الحمراء هى أكثر العناصر المكونة للدم وفرة، وبالتالى هى أك ثر الأشياء وضوحًا عند فحص الدم مجهريًا. كما أنها الأكثر أهمية للبقاء على قيد الحياة؛ حيث يمكن أن يكون نقص شديد فى كريات الدم ال بيضاء أو الصفائح الدموية مميتًا خلال أيام قليلة، لكن نقص شديد فى كريات الدم الحمراء يمكن أن يكون مميتًا خلال دقائق معدودة. إن نق ص الأكسجين الحيوى، الذى تحمله كريات الدم الحمراء، هو السبب ا لرئيسى للوفاة السريعة فى حالات الصدمات الشديدة أو النزيف.

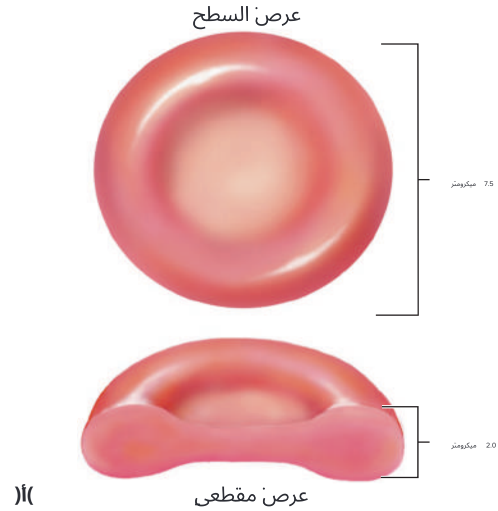
18.2 أ شكل ووظيفة كريات الدم الحمراء

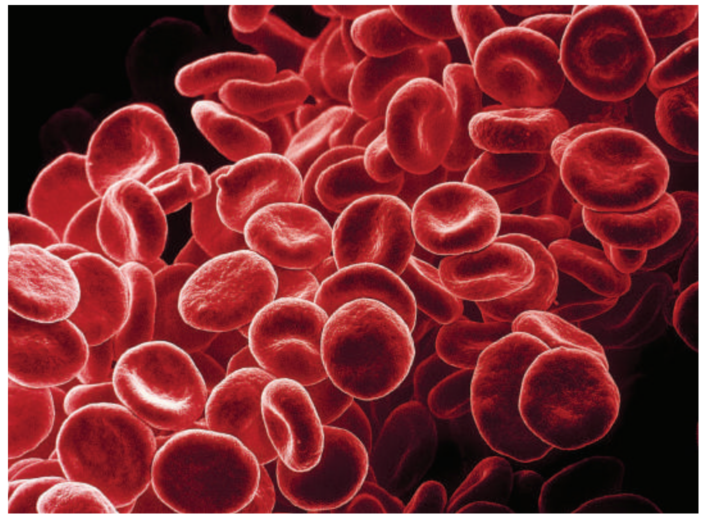
كريات الدم الحمراء هى خلايا قرصية ذات شكل مقعر مزدوج - حافة سميكة ومركز غائر رقيق. يبلغ قطرها حوالى 7.5 ميكرومتر وسماكتها 2.0 ميكرومتر عند الحافة (الشكل 18.4). على الرغم من أن معظم الخ لايا، بما فى ذلك كريات الدم البيضاء، تحتوى على العديد من العضيا ت، فإن كريات الدم الحمراء تفقد نواتها وعضياتها الأخرى أثناء النضج ، وبالتالى تفتقر بشكل ملحوظ إلى البنية الداخلية. عند النظر إليها بوا سطة المجهر الإلكترونى الناقل، يظهر داخل كريات الدم الحمراء خاليًا من الملامح. وبما أنها تفتقر إلى الميتوكوندريا، تعتمد كريات الدم الحم راء بشكل حصرى على التخمر اللاهوائى لإنتاج ATP. يمنعها غياب ال تنفس الهوائى من استهلاك الأكسجين الذى يجب أن تنقله إلى الأن سجة الأخرى. لو كانت هوائية وتستهلك الأكسجين، لكانت مثل سائق توصيل البيتزا الذى يأكل شريحة من البيتزا فى طريقه إلى منزلك. كر يات الدم الحمراء مصممة لتوصيل الأكسجين، وليس لاستهلاكه. وهى الخلايا البشرية الوحيدة التى تستمر فى التخمر اللاهوائى إلى أجل غير مسمى.

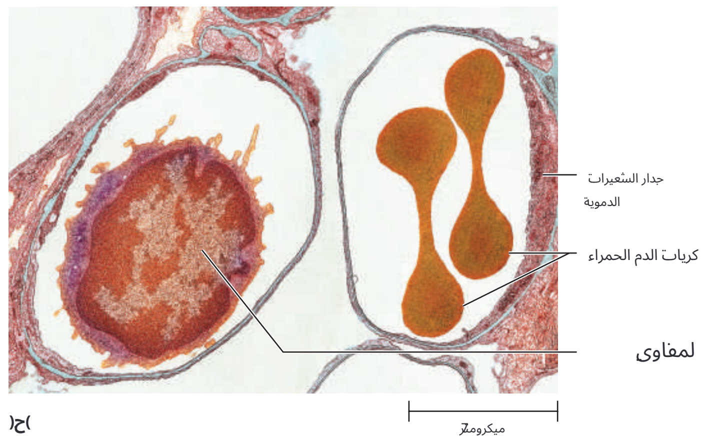
يتكون سيتوبلازم كريات الدم الحمراء بشكل رئيسى من محلول بنسبة 33% من الهيموغلوبين (حوالى 280 مليون جزىء لكل خلية). هذا هو الصباغ الأحمر الذى يمنح كريات الدم الحمراء لونها واسمه. وه و معروف بشكل خاص بدوره فى نقل الأكسجين، لكنه يساعد أيضًا ف ى نقل ثانى أكسيد الكربون وتنظيم درجة حموضة الدم.
يحتوى السيتوبلازم أيضًا على إنزيم، أنهيدراز الكربون (CAH)، الذى يح فز التفاعل $CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3$

يتم مناقشة دور أنهيدراز الكربون فى نقل الغازات وتوازن درجة الحموضة فى الفصول اللاحقة.

تحتوى غشاء البلازما فى كريات الدم الحمراء الناضجة على جليكو ليبيدات على السطح الخارجى تحدد فصيلة دم الشخص. على سطحها







الشكل 18.4 هيكل كريات الدم الحمراء. (أ) أبعاد وشكل كريات الدم الحمر اء. (ب) صورة مجهر إلكترونى مسحى تُظهر الشكل المقعر لكريات الدم الحمرا ء. (ج) صورة مجهر إلكترونى ناقل لخلية لمفاوية (يسار) وكريتى دم حم راء (يمين) فى شعيرات دموية للرئة. لاحظ مدى رقة كريات الدم الحمراء فى المركز، وغياب العضيات أو أى بنية داخلية أخرى.

APR

لماذا تكون كريات الدم الحمراء مقعرة فى المركز؟

اخلى هما بروتينان من الهيكل الخلوى، *سبيكترين* و أكتين، اللذان يمنحان ا لغشاء المرونة والمتانة. هذا مهم بشكل خاص عندما تمر كريات الدم الحمراء عبر الشعيرات الدموية الصغيرة والجيوب الدموية. العديد من هذه الممرات أ ضيق من قطر كريات الدم الحمراء، مما يجبرها على التمدد والانحناء والطى أ ثناء مرورها. وعندما تدخل الأوعية الأكبر، تعود كريات الدم الحمراء إلى شكلها لقرصى مثل أنابيب داخلية مملوءة بالهواء.

هناك جدل غير محسوم حول ما إذا كان الشكل المقعر لكريات ا لدم الحمراء له أى فائدة وظيفية. يقترح البعض أنه يعطم نسبة مساحة سطح الخلية إلى حجمها وبالتالى يعزز الانتشار السريع للأكسجين إلى كل الهيموغلوبين داخل الخلية. هذا يصعب التوفيق بينه وبين حقيقة أن المكان الوحيد الذى تحمل فيه كريات الدم الحمراء الأكسجين هو ا لشعيرات الدموية، وأثناء مرورها عبر الشعيرات الدموية الصغيرة، لا تكون عادة مقعرة الشكل بل مضغوطة إلى أشكال بيضاوية أو على ش كل دمعة. تعود إلى الشكل المقعر عند دخولها الأوعية الدموية الأكبر، لكن لا يحدث حمل للأكسجين فى هذه المرحلة.

فرضية أخرى هى أن الشكل المقعر يقلل من دوران كريات الدم الحمرا ء)مثل المتزلجة على الجليد التى تدور وذراعاها ممدودتان(. هذا يقلل من الاضطراب فى مجرى الدم، مما يمكّن المزيج الكثيف م ن كريات الدم الحمراء من التدفق عبر الأوعية الدموية الأكبر بسلاسة *تدفق طبقى*. كما جرى الجدال بأنه ببساطة الشكل الأسهل والأكثر اس تقرارًا للخلية وهيكلها الخلوى للاسترخاء فيه بعد إزالة النواة، وقد لا يكو ن له وظيفة فسيولوجية على الإطلاق.

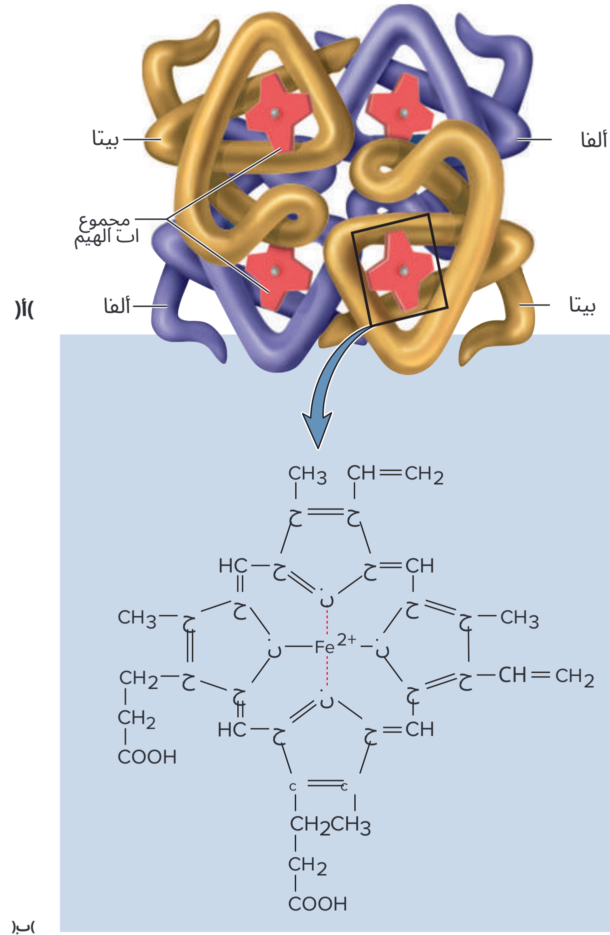
18.2ب الهيموغلوبين

يتكون الهيموغلوبين من أربع سلاسل بروتينية تسمى جلوبينات)الش كل 18.5(. اثنتان منهما، السلاسل ألفا (α) تتكون من 141 حمضًا أم ينيًا، والأخريان، السلاسل بيتا(β) تتكون من 146 حمضًا أمينيًا. كل سلسلة مرتبطة بجزء غير بروتينى يسمى مجموعة الهيم التى ترتبط بالأكسجين عبر أيون الحديد الثنائى)Fe^{2+}(فى مركزها. يمكن لكل مج موعة هيم حمل جزىء واحد من O_2 وبالتالى، يمكن لجزىء الهيموغلو بين بأكمله نقل ما يصل إلى 4 جزيئات O_2 حوالى 5% من CO_2 فى م جرى الدم يُنقل أيضًا بواسطة الهيموغلوبين لكنه يرتبط بالجلوبين ولي س بالهيم. يتم مناقشة نقل الغازات بواسطة الهيموغلوبين بالتفصيل فى الفصل 22.

يوجد الهيموغلوبين فى عدة أشكال مع اختلافات طفيفة فى سلا سل الجلوبين. الشكل الذى تم وصفه يُسمى الهيموغلوبين البالغ)Hb A(. حوالى 2.5% من هيموغلوبين البالغين هو من شكل يسمى HbA_2، الذى يحتوى على سلسلتى دلتا (δ) بدلاً من سلاسل بيتا. ينتج الج نين شكلاً يسمى الهيموغلوبين الجنينى)HbF(، الذى يحتوى على س لسلتى جاما (γ) بدلاً من سلاسل بيتا. سلاسل دلتا وجاما بنفس طو ل سلاسل بيتا لكنها تختلف فى تسلسل الأحماض الأمينية. يرتبط H bF بالأكسجين بقوة أكبر من HbA؛ وهذا يمكن الجنين من استخراج الأكسجين من مجرى دم الأم.

18.2ح كميات كريات الدم الحمراء واله يموغلوبين

عدد كريات الدم الحمراء وتركيز الهيموغلوبين بيانات سريرية مهمة لأ نها تحدد كمية الأكسجين التى يمكن للدم حملها. ثلاثة من القياسات ا لأكثر شيوعًا هى الهيماتوكريت، تركيز الهيموغلوبين، وعدد كريات الدم الحمراء.



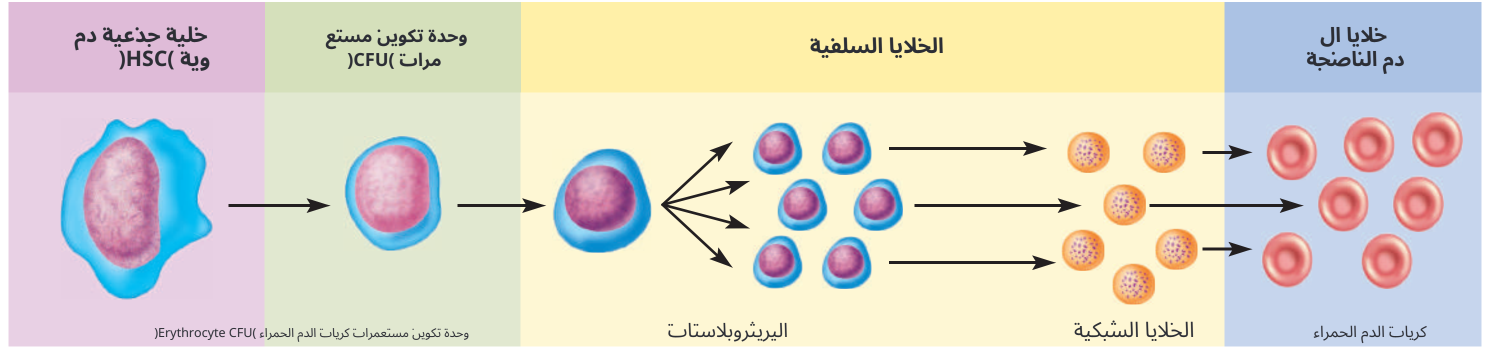
الشكل 18.5 هيكل الهيموغلوبين.)أ(تتكون جزيئة الهيموغلوبي ن من بروتينين ألفا وبروتينين بيتا، كل منها مرتبط بمجموعة هيم غير بروتينية.
)ب(هيكل مجموعة الهيم. يرتبط الأكسجين بالحديد)Fe^{2+}(فى مركز ا لهيم.

كيف يُمثّل هذا بنية بروتين رباعية؟
ما هى المجموعة البروستيتية للهيموغلوبين؟
)تلميح: انظر "بنية البروتين" فى القسم 2.4e(.

الهيماتوكريت[7])حجم الخلايا المعبأة، PCV(هو نسبة حجم الدم الكامل المكونة من كريات الدم الحمراء)انظر الشكل 18.2(. فى الرجال، يتراوح عادة بين 42% و52%؛ وفى النساء بين 37% و48%. تركيز الهيموغلوبي ن فى الدم الكامل عادة ما يكون من 13 إلى 18 جرامًا لكل ديسيلتر)جم /دل(فى الرجال ومن 12 إلى 16 جم/دل فى النساء. عدد كريات الدم الح مراء عادة ما يكون من 4.6 إلى 6.2 مليون خلية لكل ميكروليتر)µL(ف ى الرجال ومن 4.2 إلى 5.4 مليون/µL فى النساء. وغالبًا ما يُع بر عنه كخلايا لكل مليمتر مكعب)مم^3(؛ 1 µL = 1 مم^3.
لاحظ أن هذه القيم تميل إلى أن تكون أقل عند النساء مقارنةً بالر جال. هناك ثلاثة أسباب فسيولوجية لذلك:)1(الأندروجينات تحفز إن تاج خلايا الدم الحمراء، والرجال لديهم مستويات أندروجين أعلى من ا لنساء؛)2(معظم النساء فى سن الإنجاب يعانين من خسائر دورية خ لال الحيض؛ و)3(الهيماتوكريت يتناسب عكسيًا

---

[7] *هيماتو* = دم؛ *كريت* = للفصل

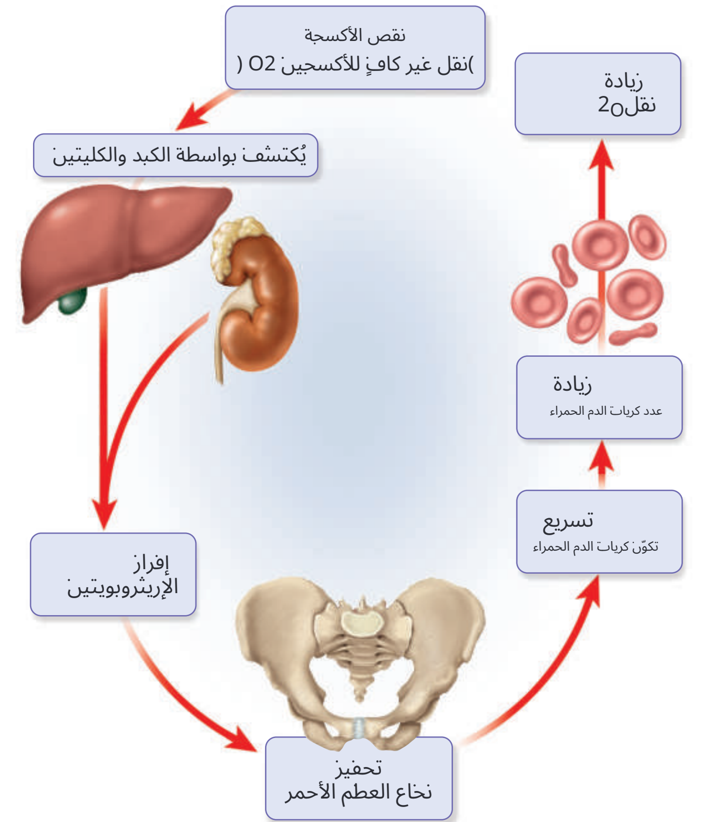


الشكل 18.6 تكوّن كريات الدم الحمراء. مراحل تطور خلية الدم الحمراء.

وتختفى، وتصبح الخلية كريات دم حمراء ناضجة. عادةً، يشكل خلايا ال شبكية حوالى 0.5% إلى 1.5% من كريات الدم الحمراء المتداولة، لكن ه ذه النسبة ترتفع فى ظروف معينة. على سبيل المثال، يحفز فقدان الدم تكوين كريات الدم الحمراء بشكل متسارع ويؤدى إلى زيادة عدد خلايا ال شبكية فى الدورة الدموية—كما لو أن نخاع العظم فى عجلة من أمره لتعو يض كريات الدم الحمراء المفقودة فيسرع بإدخال العديد من كريات الدم الحمراء النامية إلى الدورة الدموية قبل الأوان.

توازن كريات الدم الحمراء

يُحافظ على عدد كريات الدم الحمراء بطريقة سلبية تقليدية)الشكل 18.7(. إذا انخفض العدد)على سبيل المثال بسبب



الشكل 18.7 تصحيح نقص الأكسجة بواسطة حلقة تغذية راجعة سلبية.

متناسب مع نسبة الدهون فى الجسم، والتى تكون أكبر عند النساء م قارنة بالرجال فى المتوسط. عند الرجال، يتجلط الدم أيضًا بشكل أسر ع وتحتوى البشرة على عدد أقل من الأوعية الدموية مقارنة بالنساء. ه ذه الاختلافات ليست مقتصرة على البشر فقط. من وجهة نظر تطورية ، قد تكمن قيمتها التكيفية فى أن الحيوانات الذكور تقاتل أكثر من الإ ناث وتتعرّض لإصابات أكثر. قد تساعد هذه الصفات فى تقليل أو تعو يض فقدان الدم لديهم.

طبق ما تعرفه

اشرح لماذا قد يبدو تركيز الهيموغلوبين مرتفعًا بشكل مخادع فى مريض يعانى من الجفاف، فى حين أن المريض فى الواقع لا يعا نى من زيادة فى الهيموغلوبين أو كريات الدم الحمراء.

18.2د تاريخ حياة كريات الدم الحمراء

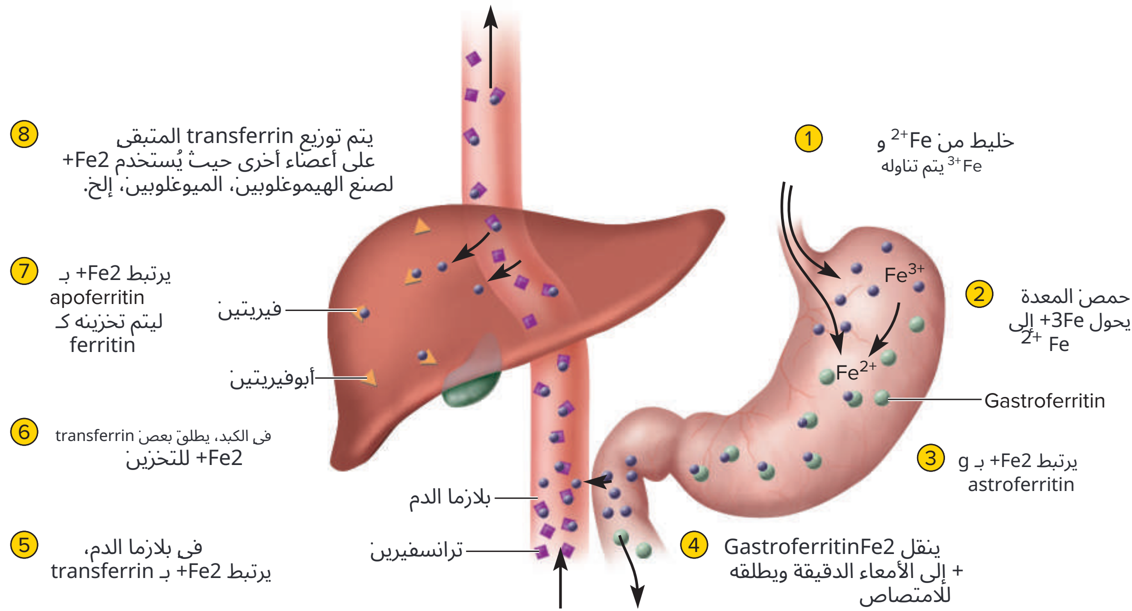
تعيش كريات الدم الحمراء فى المتوسط لمدة 120 يومًا من وقت إن تاجها فى نخاع العظم الأحمر حتى تموت وتتحلل. فى حالة التوازن وث بات عدد كريات الدم الحمراء، يبلغ معدل ولادة وموت كريات الدم الح مراء حوالى 100 مليار خلية يوميًا)مليون فى الثانية(، أو حجم خلايا م ضغوطة يبلغ 20 مل/يوم.

إنتاج كريات الدم الحمراء

يُسمى إنتاج كريات الدم الحمراء تكوين كريات الدم الحمراء)إريثروبو يسيس(. تستغرق هذه العملية عادة من ٣ إلى ٥ أيام وتشمل أربعة ت طورات رئيسية: تقليل حجم الخلية، زيادة عدد الخلايا، تخليق الهيموغ لوبين، وفقدان النواة والعضيات الأخرى.

يبدأ تكوين كريات الدم الحمراء عندما تتحول خلية جذعية دموية)HS C(إلى وحدة تكوين مستعمرات كريات الدم الحمراء)CFU( )ال شكل 18.6(، والتى تحتوى على مستقبلات لهرمون الإريثروبويتين)EPO(، وهو هرمون تفرزه الكلى. يحفز الإريثروبويتين وحدة CFU على التحول إلى إريثروبلاست)نورموبلاست(. تتكاثر الإريثروبلاستات، وتكوّن عددًا كبيرًا م ن الخلايا، وتُنتج الهيموغلوبين. عند اكتمال هذه المهمة، تنكمش نوى الإر يثروبلاست، وتُطرح من الخلايا، ويتم استهلاكها بواسطة البلاعم فى نخاع ا لعظم. تُسمى الخلية الآن ريticulocyte)خلايا الشبكية(، نسبةً إلى الشبكة المؤقتة)الشبكة(لمجموعات الريبوسومات التى تنسخ الحمض النووى الر يبوزى المرسال المتبقى فى الخلية)البوليريبوسومات؛ انظر الصورة فى ال صفحة الافتتاحية للفصل 4(.

تغادر خلايا الشبكة نخاع العظم وتدخل الدم المتداول. خلال يوم أو يومين، تتحلل آخر البوليريبوسومات



الشكل 18.8 تمثيل أيض الحديد. اقرأ باتجاه عقارب الساعة من الأعلى إلى اليمين.

تفقد النساء في سن الإنجاب في المتوسط 1.7 ملغ/يوم عبر هذه الطرق بالإضافة إلى عامل الحيض. وبما أننا نمتص فقط جزءًا من الحديد في طعامنا، يجب أن نستهلك من 5 إلى 20 ملغ/يوم لتعويض خسائرنا. تحتاج المرأة الحامل من 20 إلى 48 ملغ/يوم، خاصة في الأشهر الثلاثة الأخيرة، لتلبية حاجتها الخاصة وكذلك حاجة الجنين.

يوجد الحديد الغذائي في شكلين: أيونات الحديد الثلاثي (Fe^{3+}) أو يونات الحديد الثنائي (Fe^{2+}). يقوم حمض المعدة بتحويل معظم Fe^{3+} إلى Fe^{2+} وهو الشكل الوحيد الذي يمكن للأمعاء الدقيقة امتصاصه (الشكل 18.8). ثم يرتبط بروتين يسمى جستروفيريتين،[9] الذي تنتجه المعدة بـ Fe^{2+} وينقله إلى الأمعاء الدقيقة. هناك، يتم امتصاصه في الدم، ويرتبط ببروتين بلازمي يسمى ترانسفيرين، ويسافر إلى نخاع العظم والكبد وأنسجة أخرى. يستخدم نخاع العظم الحديد في تخليق الهيموغلوبين؛ وتستخدم العضلات الحديد لصنع بروتين ربط الأكسجين الميوغلوبين؛ وتستخدم تقريبًا جميع الخلايا الحديد لصنع جزيئات نقل الإلكترون المسماة السيتوكرومات في الميتوكوندريا الخاصة بها. يربط الكبد فائض الحديد ببروتين يسمى *أبوفيريتين*،[10] مكونًا مركب تخزين الحديد المسمى فيريتين. ويطلق Fe^{2+} إلى الدورة الدموية عند الحاجة.

بعض المتطلبات الغذائية الأخرى لتكوين كريات الدم الحمراء هي فيتامين B12 وحمض الفوليك، اللازمان للانقسام الخلوي السريع وتخليق الحمض النووي الذي يحدث أثناء تكوين كريات الدم الحمراء، وفيتامين C والنحاس، الذين يعملان كعوامل مساعدة لبعض الإنزيمات التي تخليق الهيموغلوبين.

موت وتخلص كريات الدم الحمراء

يُختصر عمر كريات الدم الحمراء في الشكل 18.9. مع تقدم عمر كريات الدم الحمراء وتدهور بروتينات غشائها (وخاصة السبيكترين)، تصبح الغشاء أكثر هشاشة. تموت العديد من كريات الدم الحمراء في الطحال، الذي يُطلق عليه "مقبرة كريات الدم الحمراء". يحتوي الطحال على

النزيف)، قد يؤدي ذلك إلى حالة من نقص الأكسجة[8] (نقص الأكسجين في الدم). تقوم الكلى بالكشف عن ذلك وتزيد من إفراز الإريثروبويتين (EPO). بعد ثلاثة أو أربعة أيام، يبدأ عدد كريات الدم الحمراء في الارتفاع ويعكس نقص الأكسجة الذي بدأ العملية.

لنقص الأكسجة أسباب عديدة غير فقدان الدم. من هذه الأسباب انخفاض مستوى الأكسجين في الغلاف الجوي. على سبيل المثال، إذا انتقلت من ميامي إلى دنفر، فإن انخفاض مستوى O2 في الارتفاع العالي لمدينة دنفر سيؤدي إلى نقص أكسجة مؤقت ويحفز إفراز الإريثروبويتين وتكوين كريات الدم الحمراء. يحتوي دم البالغ العادي على حوالي 5 ملايين كريات دم حمراء/ميكرولتر، لكن الأشخاص الذين يعيشون في المرتفعات العالية قد يكون لديهم عدد يتراوح بين 7 إلى 8 ملايين كريات دم حمراء/ميكرولتر.

سبب آخر لنقص الأكسجة هو الزيادة المفاجئة في استهلاك الجسم للأكسجين. على سبيل المثال، إذا بدأ شخص كان كسولاً سابقًا بممارسة التنس أو التمارين الهوائية، فإن العضلات تستهلك الأكسجين بشكل أسرع وتخلق حالة من نقص الأكسجة التي تحفز تكوين كريات الدم الحمراء. غالبًا ما يكون لدى الرياضيين المدربين على التحمل عدد كريات دم حمراء يصل إلى 6.5 ملايين كريات دم حمراء/ميكرولتر. لقد كلف "التعاطي" بالإريثروبويتين لزيادة عدد كريات الدم الحمراء والتحمل العديد من الرياضيين مسيرتهم المهنية وألقابهم.

ليس كل نقص أكسجة يمكن تصحيحه بزيادة تكوين كريات الدم الحمراء. في حالة النفاخ الرئوي (الانتفاخ الرئوي)، على سبيل المثال، يكون هناك نسيج رئوي أقل متاحًا لأكسجة الدم. لا يمكن لزيادة عدد كريات الدم الحمراء تصحيح هذا، لكن الكلى ونخاع العظم لا يعرفان ذلك. يستمر عدد كريات الدم الحمراء في الارتفاع في محاولة عقيمة لاستعادة التوازن الداخلي، مما يؤدي إلى زيادة خطيرة تسمى *كثرة الحمر*، والتي سيتم مناقشتها لاحقًا.

الأيض الحديدي

الحديد هو جزء حيوي من جزيء الهيموغلوبين وبالتالي أحد المتطلبات الغذائية الأساسية لتكوين كريات الدم الحمراء. يفقد الرجال حوالي 0.9 ملغ من الحديد يوميًا، معظمها من خلال تقشر (تقشر) خلايا البشرة والأمعاء، والنساء

[9] *جاسترو* = المعدة؛ *فيريت* = الحديد؛ *إن* = البروتين
[10] *أبو* = منفصل عن؛ *فيريت* = الحديد؛ *إن* = البروتين

[8] *hyp* = أقل من الطبيعي؛ *ox* = الأكسجين؛ *emia* = حالة الدم

يرتبط بالترانسفيرين ويُستخدم أو يُخزن بنفس طريقة الحديد الغذائى. تحول البلاعم بقية الهيم إلى صبغة خضراء تسمى بيليفيردين[12])بيل-إ-ه-فور-دين(، ثم تحول معظمها إلى صبغة صفراء-خضراء تسمى

البيليروبين.[13] يُطلق البيليروبين من قبل البلاعم ويرتبط بالألبومين فى بلازما الدم. يزيله الكبد من الألبومين ويُفرزه فى الصفراء، التى تعطيها لونًا أخضر داكنًا مع تركيز الصفراء فى المرارة.

يُعرف كل من البيليفيردين والبيليروبين معًا باسم أصباغ الصفراء. تفرز المرارة الصفراء إلى الأمعاء الدقيقة، حيث تقوم البكتيريا بتحويل البيليروبين إلى *اليوروبيلينوجين* المسؤول عن اللون البنى للبراز. صبغة أخرى ناتجة عن تحلل الهيموغلوبين، *اليوروكروم*، تنتج اللون الأصفر للبول. يؤدى ارتفاع مستوى البيليروبين فى الدم إلى *اليرقان*، وهو اصفرار فى الجلد وبياض العينين)انظر الشكل 6.7ب(. قد يكون اليرقان علامة على تحلل دموى سريع أو مرض فى الكبد أو انسداد فى القناة الصفراوية يعوق التخلص من البيليروبين.

18.2 هـ اضطرابات كريات الدم الحمراء

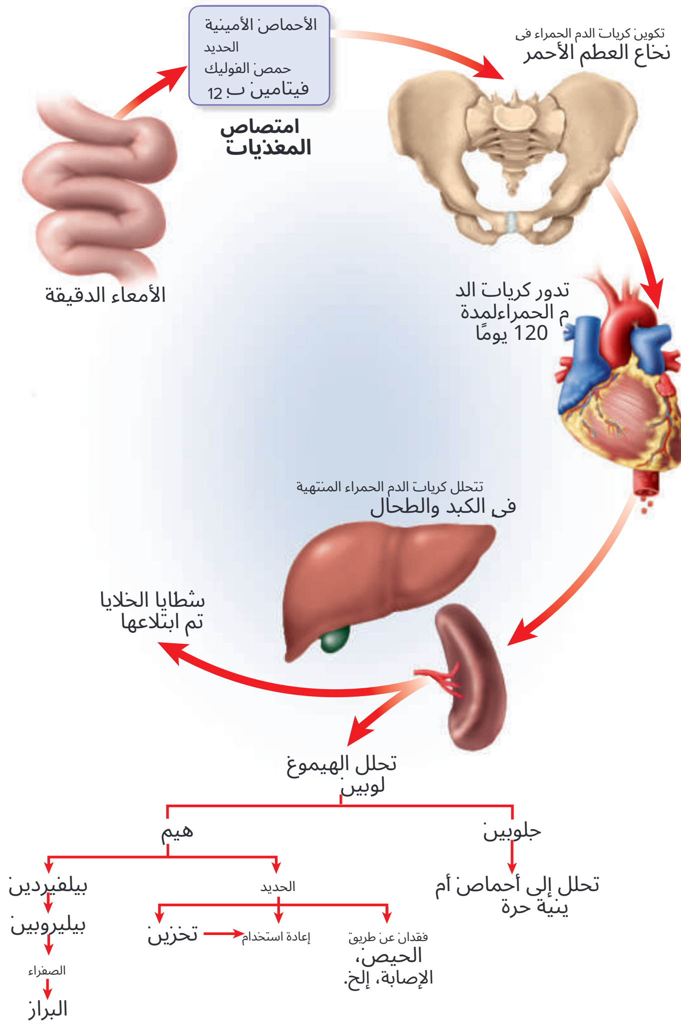
أى خلل بين معدلات تكوين كريات الدم الحمراء وتدميرها قد يؤدى إلى زيادة أو نقص فى عدد خلايا الدم الحمراء.
زيادة كريات الدم الحمراء تُسمى *كثرة الحمر*[14]-(POL-ee-sy-THEE-me-uh)، ونقص إما فى كريات الدم الحمراء أو الهيموغلوبين يُسمى *فقر الدم*.[15]

كثرة الحمر

كثرة الحمر الأولية)كثرة الحمر الحقيقية(هى زيادة فى كريات الدم الحمراء ناجمة عن سرطان خط تكوين كريات الدم الحمراء فى نخاع العظم الأحمر. يمكن أن يصل عدد كريات الدم الحمراء إلى 11 مليون خلية/ميكرولتر والهيماتوكريت إلى 80%. كثرة الحمر الناتجة عن جميع الأسباب الأخرى تُسمى كثرة الحمر الثانوية، وتتميز بعدد كريات دم حمراء يصل إلى 6 إلى 8 ملايين خلية/ميكرولتر. يمكن أن تنتج عن الجفاف لأن الماء يُفقد من مجرى الدم بينما تبقى كريات الدم الحمراء مركزة بشكل غير طبيعى. فى الغالب، يكون السبب التدخين، تلوث الهواء، الانتفاخ الرئوى، الارتفاعات العالية، التمارين الهوائية المفرطة، أو عوامل أخرى تُحدث حالة نقص الأكسجة وتحفز إفراز الإريثروبويتين.

المخاطر الرئيسية لكثرة الحمر هى زيادة حجم الدم، الضغط، واللزوجة. يمكن أن يتضاعف حجم الدم فى كثرة الحمر الأولية بسبب الاحتباس الاسموزى للماء مما يسبب احتقانًا شديدًا فى الجهاز الدورى.

قد ترتفع لزوجة الدم إلى ثلاثة أضعاف المعدل الطبيعى. تكون الدورة الدموية ضعيفة، وتتكدس الشعيرات الدموية بالدم اللزج، ويتعرض القلب لإجهاد خطير. يمكن أن تؤدى كثرة الحمر المزمنة)طويلة الأمد(إلى الانسداد الوعائى، السكتة الدماغية، أو فشل القلب. العواقب المميتة للانتفاخ الرئوى وبعض أمراض الرئة الأخرى تعود جزئيًا إلى كثرة الحمر.



الشكل 18.9 حياة وموت كريات الدم الحمراء. لاحظ خصوصًا مراحل تحلل الهيموغلوبين والتخلص منه.

قنوات ضيقة تصل إلى 3 ميكرومتر تختبر بشدة قدرة خلايا الدم الحمراء القديمة والهشة على الانضغاط والمرور عبر العضو. تُحبس الخلايا القديمة، وتتكسر، وتُدمر. فى بعض الأحيان يشير الطحال المتضخم والمؤلم إلى أمراض تتسبب فى تحلل سريع لخلايا الدم الحمراء.
التحلل الدموى[11])هى-مول-إه-سيس(، تمزق خلايا الدم الحمراء، يطلق الهيموغلوبين ويترك أغشية بلازما فارغة. تُهضم شظايا الغشاء بسهولة بواسطة البلاعم فى الكبد والطحال، لكن التخلص من الهيموغلوبين أمر أكثر تعقيدًا. يجب التخلص منه بكفاءة، وإلا فقد يسد أنابيب الكلى ويسبب فشلًا كلويًا. تبدأ البلاعم عملية التخلص بفصل الهيم عن الغلوبين. تقوم بتحليل الغلوبين إلى أحماض أمينية حرة، يمكن استقلابها كوقود أو إعادة تدويرها لتكوين البروتين.

التخلص من الهيم أمر مختلف. أولاً، تزيل البلاعم الحديد وتطلقه فى الدم، حيث

[12]*ليلى* = الصفراء؛ *فيرد* = أخضر؛ *إن* = مادة
[13]*ليلى* = الصفراء؛ *روب* = أحمر؛ *إن* = مادة
[14]*بولى* = كثير؛ *سيت* = خلية؛ *هيم* = دم؛ *إيا* = حالة
[15]*أن* = بدون؛ *إيم* = دم؛ *إيا* = حالة

[11]*هيمو* = دم؛ *ليسيس* = انقسام، تحلل

ينتج فقر الدم الغذائى عن نقص فى النظام الغذائى لأى من المتطلبات اللازمة لتكوين كريات الدم الحمراء التى نوقشت سابقًا. أكثر أشكاله شيوعًا هو فقر الدم الناجم عن نقص الحديد، الذى يتميز بكريات دم حمراء صغيرة وشاحبة. عادةً ما يكون فقر الدم الناجم عن نقص الحديد سببه فقدان الدم دون تعويض كافٍ بالحديد الغذائى. كما يسبب نقص فيتامين B12 فقر الدم، لكن فيتامين B12 متوفر بكثرة فى اللحوم، لذا فإن نقصه نادر إلا فى النباتيين الصارمين. وغالبًا ما يحدث نقص فيتامين B12 عندما تفشل غدد المعدة في إنتاج مادة تسمى العامل الداخلى التى يحتاجها الأمعاء الدقيقة لامتصاص الفيتامين. أحيانًا يصاب كبار السن بمرض فقر الدم الخبيث، وهو مرض مناعى ذاتى تدمر فيه الأجسام المضادة أنسجة المعدة. ويمكن أن يكون فقر الدم الخبيث وراثيًا أيضًا.
بدون إدارة مناسبة بعد الجراحة، يمكن لمرضى جراحة تحويل مسار المعدة واستئصال المعدة أن يصابوا بفقر دم مشابه بسبب إزالة أنسجة المعدة أو إعادة ترتيب المعدة جراحيًا، مما يؤدى إلى فصلها عن الأمعاء الدقيقة حيث يُحتاج العامل الداخلى. يمكن علاج مثل هذه الأنواع من فقر الدم بحقن فيتامين B12 أو تناول فيتامين B12 والعامل الداخلى عن طريق الفم.

ينجم فقر الدم ناقص التنسج عن انخفاض فى تكوين كريات الدم الحمراء، فى حين أن الفشل الكامل أو تدمير نسيج النخاع ينتج عنه فقر الدم اللاتنسجى، وهو توقف كامل لتكوين كريات الدم الحمراء. يؤدى فقر الدم اللاتنسجى إلى نخر أنسجة مشوه وتغير لون الجلد إلى الأسود. ما لم يتم العلاج بنجاح، يموت معظم المرضى خلال عام. حوالى نصف حالات فقر الدم ناقص التنسج أسبابها غير معروفة أو وراثية، خاصة فى المراهقين والشباب.

لفقر الدم ثلاث عواقب محتملة:

1. تعانى الأنسجة من نقص الأكسجة (نقص الأكسجين). يصبح الفرد خاملًا ويشعر بضيق فى التنفس عند بذل مجهود بدنى. يكون الجلد شاحبًا بسبب نقص الهيموغلوبين. يمكن أن يسبب نقص الأكسجة الشديد الناتج عن فقر الدم نخرًا مهددًا للحياة فى أنسجة الدماغ والقلب والكلى.
2. تنخفض أسمولارية الدم. وبالتالى ينتقل المزيد من السوائل من مجرى الدم إلى الفراغات بين الخلايا، مما يؤدى إلى الوذمة.
3. يتم تقليل لزوجة الدم. نظرًا لأن الدم يواجه مقاومة أقل للتدفق، ينبض القلب أسرع من المعتاد وقد يحدث فشل قلبى. كما ينخفض ضغط الدم بسبب انخفاض الحجم واللزوجة.

مرض الخلايا المنجلية

مرض الخلايا المنجلية هو عيب وراثى فى الهيموغلوبين يوجد غالبًا بين شعوب أفريقيا جنوب الصحراء الكبرى، وحوض البحر الأبيض المتوسط، والشرق الأوسط، والهند، وبين أحفادهم فى الولايات المتحدة، وأوروبا، وأماكن أخرى. ينجم عن أليل متنحٍ يُعدّل الهيموغلوبين (انظر القسم 4.4ب). يختلف هيموغلوبين الخلايا المنجلية (HbS) عن الهيموغلوبين الطبيعى HbA فقط فى الحمض الأمينى السادس

[16]نقص = أقل من الطبيعى؛ تكوّن = التكوين؛ متعلق ب = خاص بـ

فقر الدم

تنقسم أسباب فقر الدم إلى ثلاث فئات: (1) نقص تكوين كريات الدم الحمراء أو تخليق الهيموغلوبين، (2) فقر الدم النزفى الناتج عن النزيف، و(3) فقر الدم الانحلالى الناتج عن تدمير كريات الدم الحمراء. الجدول 18.4 يوضح أمثلة وأسباب محددة لكل فئة.

غالبًا ما ينتج فقر الدم عن فشل الكلى لأن إنتاج كريات الدم الحمراء يعتمد على الإريثروبويتين، الذى يُنتج بشكل رئيسى بواسطة الكلى. كما ينخفض تكوين كريات الدم الحمراء مع التقدم فى العمر، ببساطة لأن الكلى تتضمر وتنتج كميات أقل وأقل من الإريثروبويتين مع التقدم فى السن. ويزيد من تفاقم هذه المشكلة أن العديد من كبار السن يمارسون تمارين أقل ويتناولون طعامًا أقل جودة، وكلا العاملين يقللان من تكوين كريات الدم الحمراء.

الجدول 18.4 أسباب فقر الدم

فئات فقر الدم	الأسباب أو الأمثلة
نقص تكوين كريات الدم الحمراء	
فقر الدم الناتج عن نقص الحديد	نقص الحديد الغذائى
أنواع أخرى من فقر الدم الناتج عن سوء التغذية	نقص حمض الفوليك الغذائى، فيتامين ب12 أو نقص فيتامين ح
فقر الدم الناتج عن قص وظائف الكلى	نقص إفراز الإريثروبويتين (EPO)
فقر الدم الخبيث	نقص العامل الداخلى مما يؤدى إلى امتصاص غير كافٍ لفيتامين ب12
فقر الدم ناقص التنسج وفقر الدم اللاتنسجى	تدمير نسيج النخاع العظمى بواسطة الإشعاع، الفيروسات، بعض الأدوية والسموم (الزرنيخ، البنزين، غاز الخردل)، أو مرض مناعى ذاتى
فقر دم الشيخوخة	انخفاض إنتاج كريات الدم الحمراء بسبب نقص التغذية، انخفاض النشاط البدنى، ضمور المعدة (انخفاض إفراز العامل الداخلى)، أو ضمور الكلى (انخفاض إفراز الإريثروبويتين)
فقدان الدم (فقر الدم النزفى)	
من نقص التخثر الوراثى	الهيموفيليا
من الأسباب غير الوراثية	الرضوض، تمدد الأوعية الدموية، الحيض، القرحة
تدمير خلايا الدم الحمراء (فقر الدم الانحلالى)	
تفاعلات دوائية	حساسية البنسلين
التسمم	سموم الفطر، سموم الأفاعى والعناكب
العدوى الطفيلية	تدمير خلايا الدم الحمراء بواسطة طفيليات الملاريا
عيوب الهيموغلوبين الوراثية	مرض الخلايا المنجلية، الثلاسيميا
عدم توافق فصائل الدم	مرض تحلل الدم عند حديثى الولادة، تفاعلات نقل الدم

11. ماذا يحدث لكل مكون من مكونات كريات الدم الحمراء وهيم وغلوبينها عندما تموت وتتحلل؟

12. ما هى الأسباب أو الفئات الثلاثة الرئيسية لفقر الدم؟ وما ه ى عواقبه الثلاثة الرئيسية؟

فصائل الدم 18.3

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمالك لهذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. اشرح ما الذى يحدد فصائل دم ABO وRh لدى الشخص وكيف يرتبط ذلك بتوافق عمليات نقل الدم؛

ب. اذكر بعض مجموعات الدم الأخرى غير ABO وRh وشرح ك يف يمكن أن تكون مفيدة؛ و

ح. وصف تأثيرات عدم توافق فصيلة الدم بين الأم والجنين.

فصائل الدم وتوافق نقل الدم مسألة تتعلق بالتفاعلات بين البلازما و كريات الدم الحمراء. حاول الأطباء اليونانيون القدماء نقل الدم من شخ ص إلى آخر عن طريق عصره من مثانة خنزير عبر إبرة من شوك القنفذ إلى وريد المتلقى. على الرغم من استفادة بعض المرضى من الإجراء، إلا أنه كان مميتًا لآخرين. ظل سبب توافق دم بعض الأشخاص وعدم توافق دم آخرين غامضًا حتى عام 1900، عندما اكتشف كارل لاندش تاينر فصائل الدم A وB وO — وهو الاكتشاف الذى منحه جائزة نوبل فى عام 1930؛ وتم اكتشاف الفصيلة AB لاحقًا.

حفزت الحرب العالمية الثانية تحسينات كبيرة فى عمليات نقل الدم، وبنوك الدم، وبدائل الدم)انظر التعمق 18.2(.

تعتمد فصائل الدم على جزيئات كبيرة تسمى *المستضدات والأ جسام المضادة*. سيتم شرحها بشكل أكثر تفصيلاً فى الفصل 21، ولك ن سيتم تقديمها هنا بإيجاز فقط. المستضدات هى جزيئات معقدة م ثل البروتينات، والجليكوبروتينات، والجليكوليبيدات التى تكون فريدة وراثيًا لكل فرد)باستثناء التوائم المتطابقة(. توجد على أسطح جميع ال خلايا وتمكن الجسم من التمييز بين خلاياه الخاصة والمواد الغريبة. ع ندما يكتشف الجسم مستضدًا ذا أصل أجنبى، فإنه ينشط استجابة م ناعية. تتكون هذه الاستجابة جزئيًا من خلايا البلازما التى ذُكرت سابقًا، والتى تفرز بروتينات تسمى الأجسام المضادة.

ترتبط الأجسام المضادة بالمستضدات وتعلمها، أو الخلايا التى تحملها، للتدمير. إحدى طرق عمل الأجسام المضادة هى التكتل، حى ث يرتبط كل جزىء من الأجسام المضادة بخلية أجنبية أو أكثر ويلصقه ا معًا. تكرار هذه العملية ينتج كتلًا كبيرة من الخلايا التى يمكن أن تس بب مضاعفات رد فعل نقل الدم الذى سيتم مناقشته لاحقًا. تُسمى ا لمستضدات السطحية لكريات الدم الحمراء التى تحفز التكتل الملت صقات)agglutinogens(والأجسام المضادة فى البلازما ال تى ترتبط بها تُسمى الملتصقات المضادة.(agglutinins)

18.3a مجموعة ABO

تشكل فصائل الدم A و B و AB و O مجموعة الدم ABO)الجدول 1 8.5(. يتم تحديد فصيلة دم ABO للفرد من خلال وجود أو غياب الم ستضدات A و B على خلايا الدم الحمراء بشكل وراثى.

حمض سلسلة بيتا، حيث يحتوى HbA على حمض الجلوتاميك وHbS يحتوى على فالين. لا يرتبط HbS بالأكسجين بشكل جيد. عند انخفاض تركيز الأكسجين، يفقد الأكسجين، ويتحلل إلى بوليمرات، ويشكل هلامًا يجعل كريات الدم الحمراء مطولة ومدببة عند الأطراف)انظر الشكل 4.1 7أ(، ومن هنا جاء اسم المرض. كريات الدم الحمراء المنجلية لزجة؛ فهى تتجمع[17])تتكتل(وتسد الأوعية الدموية الصغيرة، مما يسبب ألمًا شديدًا فى الأنسجة التى تعانى من نقص الأكسجين.

يمكن أن يؤدى انسداد الدورة الدموية أيضًا إلى فشل فى الكلى أو الق لب، أو سكتة دماغية، أو ألم شديد فى المفاصل، أو شلل. تحلل الخلا يا الهشة يسبب فقر الدم، مما يؤدى إلى نقص الأكسجة الذى يحفز ال مزيد من التكوين المنجلى فى حلقة تغذية راجعة إيجابية قاتلة.

يسبب نقص الأكسجة المزمن أيضًا التعب، والضعف، وضعف التطو ر العقلى، وتدهور القلب وأعضاء أخرى، والعديد من الوفيات فى مرح لة الطفولة بسبب العدوى الانتهازية. فى محاولة يائسة لمواجهة نقص الأكسجة، تصبح الأنسجة المكونة للدم نشطة جدًا بحيث تتضخم الع ظام فى الجمجمة وأماكن أخرى وتتشوه. يعود الطحال إلى دور تكوين ا لدم، بينما يتخلص أيضًا من كريات الدم الحمراء الميتة، ويصبح متض خمًا وليافيًا.

بدون علاج، يكون لدى الطفل المصاب بمرض الخلايا المنجلية فرصة ضئ يلة للعيش حتى سن الثانية. لقد أدت التقدمات فى العلاج إلى زيادة متوسط ا لعمر المتوقع تدريجياً إلى ما بعد سن الخمسين بقليل، ولكن فى معظم الحالا ت، لا يزال المرض يقصر عمر الشخص لعقود.

لماذا يوجد مرض الخلايا المنجلية؟ فى أفريقيا، حيث نشأ، يموت عدد هائل من الناس بسبب الملاريا. الملاريا تسببها طفيلى يغزو خلا يا الدم الحمراء ويتغذى على الهيموغلوبين. الهيموغلوبين المنجلى صا ر للطفيليات، والأشخاص الحاملون لجين الخلايا المنجلية بشكل غير متماثل، خاصة الرضع، يكونون مقاومين للملاريا. الأرواح التى تنقذها هذه الجينة تفوق بكثير عدد الوفيات بين الأفراد المتماثلين، لذلك ت ستمر هذه الجينة فى السكان.

جين الخلايا المنجلية أقل شيوعًا فى الولايات المتحدة والمناطق الأخر ى التى لا تعانى من الملاريا مقارنة بأفريقيا.

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

6. صف حجم وشكل ومحتويات كريات الدم الحمراء، واشرح كيف ت كتسب شكلها غير المعتاد.

7. ما وظيفة الهيموغلوبين؟ ما أسماء مكوناته البروتينية وغير البرو تينية؟

8. عرف الهيماتوكريت، تركيز الهيموغلوبين، وعدد كريات الدم الحم راء، واذكر وحدات القياس التى يُعبر بها عن كل منها.

9. عدد مراحل إنتاج كريات الدم الحمراء ووصف كيف تختلف كل مر حلة عن التى قبلها.

10. ما دور الإريثروبويتين فى تنظيم عدد كريات الدم الحمراء؟ وما دور ا لجاستروفيريتين؟

[17] *ag* = معًا؛ *glutin*= لاصق



نظرة أعمق 18.2

التاريخ الطبى

تشارلز درو—رائد بنوك الدم



السشكل 18.10 تشارلز درو)1904–1950(.
ألفريد آيزنشتات/مجموعة صور LIFE/صور غيتى

تشارلز درو)الشكل 18.10(كان عالماً يُذكر لمساهماته الأساسية فى علم الدم وح
قوق الإنسان، ولنهاية حياته المأساوية والسخرية. بعد حصوله على شهادة الطب م
ن جامعة ماكجيل فى مونتريال عام 1933، أصبح درو أول شخص أسود يسعى للح
صول على درجة الدكتوراه فى العلوم الطبية، حيث درس عمليات نقل الدم وبنوك
الدم فى جامعة كولومبيا. أصبح مديرًا لبنك دم جديد فى مستشفى كولومبيا بريس
بيتيريان عام 1939 ونظم العديد من بنوك الدم خلال الحرب العالمية الثانية.

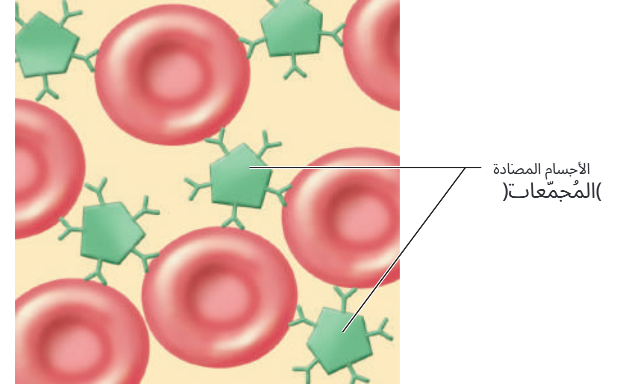
أنقذ درو العديد من الأرواح من خلال إقناع الأطباء باستخدام البلازما بدلاً من ا
لدم الكامل فى عمليات نقل الدم فى ساحات المعارك وحالات الطوارئ الأخرى. ى
مكن تخزين الدم الكامل لمدة أسبوع فقط ويُعطى فقط للمتلقين الذين لديهم ف
صائل دم متوافقة. أما البلازما فيمكن تخزينها لفترة أطول وكانت أقل احتمالًا للت
سبب فى ردود فعل نقل الدم.
عندما أصدرت وزارة الحرب الأمريكية توجيهًا يحظر تخزين "دم القوقازيين وال
سود" فى نفس بنوك الدم العسكرية، أدان درو هذا الأمر واستقال من منصبه. أ
صبح أستاذًا للجراحة فى جامعة هوارد فى واشنطن العاصمة، ولاحقًا رئيسًا للطاقم
الطبى فى مستشفى فريدمن. كان مرشدًا للعديد من الأطباء السود الشباب ونا
ضل لقبولهم فى المجتمع الطبى. ومع ذلك، رفضت الجمعية الطبية الأمريكية ق
بول الأعضاء السود حتى ستينيات القرن العشرين، مستبعدة حتى درو نفسه.

فى وقت متأخر من ليلة عام 1950، انطلق درو وثلاثة من زملائه لتقديم خدما
تهم الطبية التطوعية فى عيادة مجانية سنوية فى توسكجى، ألاباما.
غفا درو أثناء القيادة وأصيب بجروح خطيرة فى الحادث الناتج. وعلى عكس الأسط
ورة التى تقول إن درو رفضت علاجه الطارئ بسبب لونه، فقد قام الأطباء فى أقر
ب مستشفى بإعطائه الدم وحاولوا إنعاشه. ومع ذلك، وعلى الرغم من كل الأرواح ا
لتى أنقذها من خلال عمله الرائد فى نقل الدم، فقد نزف درو حتى الموت عن عمر
يناهز 45 عامًا.

الجدول 18.5 فصيلة الدم ABO

الخصائص	فصيلة الدم ABO			
	الفصيلة O	الفصيلة A	الفصيلة B	الفصيلة AB
الأنماط الجينية المحتملة*	*ii*	لA لA اول Ai	لB لB اول Bi	لA لB
مستضد كريات الدم الحمراء	لا A ولا B	A	B	كلا من A و B
أجسام مضادة فى البلازما	مضاد أ، مضاد ب	مضاد ب	مضاد أ	لا شيء
يمكنه استقبال خلايا الدم الحمراء بأمان من	النوع O	النوع O أو A	النوع O أو B	النوع A، O، B أو AB
يمكنه التبرع بخلايا الدم الحمراء بأمان إلى	النوع A، O، B أو AB	النوع أ أو أب	النوع ب أو AB	النوع AB
التكرار فى سكان الولايات المتحدة)ترتيب تنازلى حسب نسبة السكان(				
الأبيض	45%	40%	11%	4%
لاتينى-أمريكى	57%	31%	10%	2.2%
أسود	51%	26%	19%	4.3%
آسيوى	40%	27.5%	25.4%	7.1%

* I^A هو الأليل السائد لمولد التجلط A؛ I^B هو الأليل السائد لمولد التجلط B؛ والأليل *i* هو متنحى لكليهما.



الشكل 18.12 تجمع كريات الدم الحمراء بواسطة جسم مضاد. يحتوى م
ضاد A ومضاد B على 10 مواقع ارتباط، تقع عند طرفى كل من ال 5 أشكال
Y، وبالتالى يمكنهما ربط عدة كريات دم حمراء معًا.

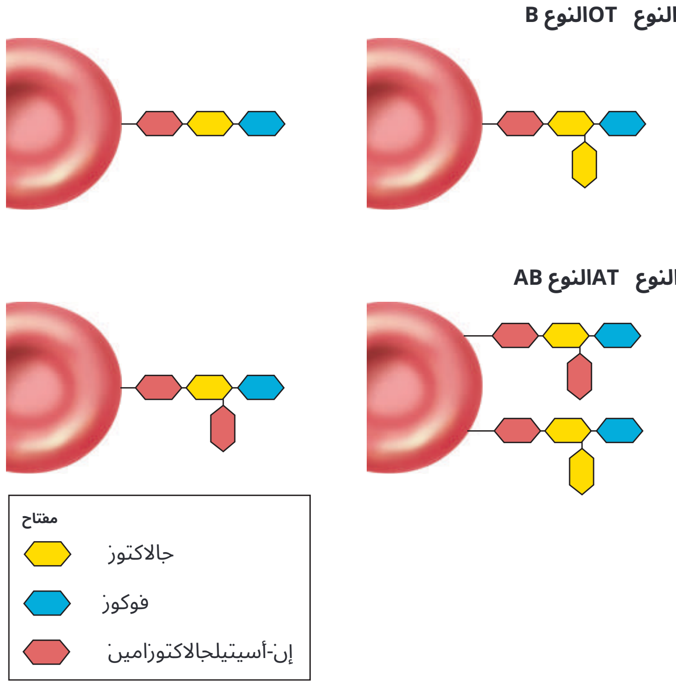
مصل مضاد مطابق؛ ونوع O لا يتجلط فى أى منهما
واحد)الشكل 18.13(.

الدم من النوع O هو الأكثر شيوعًا وAB هو الأندر فى
الولايات المتحدة. تختلف النسب من منطقة إلى أخرى فى
العالم وبين المجموعات العرقية. يميل الناس إلى الزواج داخل
منطقتهم ومجموعتهم العرقية، مما يؤدى إلى استمرار التباينات
الإحصائية الخاصة بتلك المجموعة)الجدول 18.5(. على النقيض من تنوع أنواع دم ABO
للمجموعات العرقية المذكورة هناك، فإن الأمريكيين الأصليين
هم تقريبًا 100% من النوع O، مما يشير إلى التباين الضئيل بينهم.

	مصل مضاد B	مصل مضاد A
النوع O		
الفصيلة A		
الفصيلة B		
الفصيلة AB		

الشكل 18.13 تصنيف الدم ABO. يُظهر كل صف مطهر قطرة دم
مختلطة مع مضادات الأجسام anti-A و anti-B. تتكتل خلايا الدم إذ
ا كانت تحتوى على المستضدات الخاصة بالمصل المضاد، وإلا تبقى مختلط
ة بشكل متجانس. لذلك، النوع O لا يتكتل فى أى من المصلين؛ النوع A يتك
تل فقط فى anti-A؛ النوع B يتكتل فقط فى anti-B؛ والنوع AB يتكتل
فى كلا المصلين.)الألوان الصفراء والزرقاء لا تحمل أى دلالة، فهى ألوا
ن مضافة إلى المصل المضاد.(

enciktat/Shutterstock



الشكل 18.11 الأساس الكيميائى لأنواع دم ABO. تُظهر الكربوهيدرات ال
طرفية للجليكوليبيدات المستضدية. جميعها تنتهى بالجالاكتوز والفوكوز)لا
يجب الخلط بينها وبين الفركتوز(. فى النوع A، يُضاف إلى الجالاكتوز إن-أ
سيتيلجالاكتوزامين؛ فى النوع B، يحتوى على جالاكتوز آخر؛ وفى النوع AB،
تتواجد كلا سلسلتى السلسلة.

المستضدات هى جليكوليبيدات—فوسفوليبيدات غشائية مرتبطة ب
سلاسل كربوهيدرات قصيرة. يوضح الشكل 18.11 كيف تحدد مجم
وعات الكربوهيدرات على سطح كريات الدم الحمراء أنواع دم ABO.

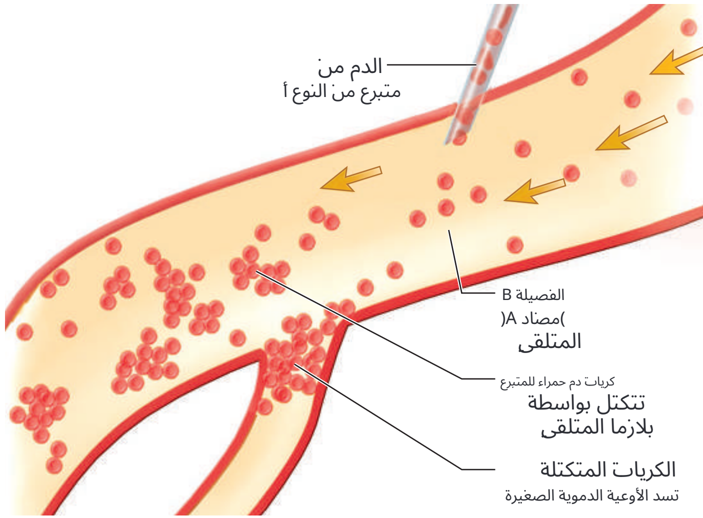
تبدأ أجسام مضادة لمجموعة ABO بالظهور فى البلازما بعد الولاد
ة بفترة تتراوح بين 2 إلى 8 أشهر. تصل إلى تركيزها الأقصى بين 8 و1
0 سنوات من العمر ثم تنخفض تدريجيًا لبقية الحياة. تُنتج بشكل رئي
سى استجابة للبكتيريا التى تعيش فى الأمعاء، لكنها تتفاعل مع مس
تضدات كريات الدم الحمراء، ولذلك تُعرف بأهميتها فى عمليات نقل
الدم.

تتفاعل أجسام مضادة لمجموعة ABO ضد أى مستضد A أو B
باستثناء المستضد الخاص بالفرد نفسه. يُسمى الجسم المضاد الذى
يتفاعل مع المستضد A ألفا أجليوتينين، أو مضاد A؛ وهو موجود فى
بلازما الأشخاص ذوى فصيلة دم O أو B، أى أى شخص لا يمتلك م
ستضد A. أما الجسم المضاد الذى يتفاعل مع المستضد B فهو بيتا أ
جليوتينين، أو مضاد B، ويوجد فى الأشخاص ذوى فصيلة دم O وA، أ
ى الذين لا يمتلكون مستضد B. يحتوى كل جزىء جسم مضاد على 1
0 مواقع ارتباط يمكنه من خلالها الارتباط بمستضد A أو B. لذلك يم
كن للجسم المضاد أن يرتبط بعدة كريات دم حمراء فى آن واحد ويُجمّ
عها)الشكل 18.12(.
يمكن تحديد فصيلة دم ABO لشخص ما بوضع قطرة دم واحدة
فى محلول مضاد A وقطرة أخرى فى محلول مضاد B. يظهر الدم من ا
لنوع AB تجمعًا واضحًا فى كلا المحلولين؛ أما النوع A أو B فيتجمع ف
قط فى

الشك في نسب الشخص. على عكس اعتقاد بعض الناس، نوع الدم لا يتغير بسبب النقل. فهو ثابت منذ التكوين ويظل كما هو طوال الح ياة.

طبق ما تعرفه

طور العلماء طريقة لفصل N-أسيتيلجالاكتوزامين إنزيميًا عن الج ليكوليبيد في خلايا الدم من النوع A)انظر الشكل 18.11(. ما الفا ئدة السريرية التي تعتقد أنهم رأوها تبرر جهودهم البحثية؟



الشكل 18.14 تأثيرات نقل الدم غير المتطابق.تتجمع كريات الدم الحمراء)RBCs(للمتبرع في بلازما دم المتلقي. تتراكم كريات الدم الحمراء المتجمعة في الأوعية الدموية الصغيرة أسفل نقطة الدخول وتقطع تدفق الدم إلى الأنسجة الحيوية.

أولئك الذين استقروا في الأمريكتين منذ حوالي 33,000 سنة، والوق ت القصير لظهور المتغيرات منذ ذلك الحين.

عند إعطاء عمليات نقل الدم، من الضروري ألا تتجمع كريات الدم الحمراء للمتبرع عند دخولها مجرى دم المتلقي. على سبيل المثال، إذا تم نقل دم من النوع B إلى متلقٍ من النوع A، فإن أجسام المتلقي الم ضادة لـ B ستتجمع فورًا مع كريات الدم الحمراء للمتبرع)الشكل 18.1 4(.يسبب عدم التطابق رد فعل نقل الدم—حيث تسد كريات الدم الح مراء المتجمعة الأوعية الدموية الصغيرة، وتتحلل، وتطلق الهيموغلوبي ن خلال الساعات أو الأيام التالية. يمكن للهيموغلوبين الحر أن يسد أنا بيب الكلى ويسبب الوفاة بسبب الفشل الكلوي الحاد خلال حوالي أ سبوع. لهذا السبب، يجب ألا يتلقى شخص من النوع A)مضاد B(نق ل دم من النوع B أو AB. ويجب ألا يتلقى شخص من النوع B)مضاد A(دمًا من النوع A أو AB. ولا يمكن للأشخاص من النوع O) مضاد A ومضاد B(أن يتلقوا بأمان دمًا من النوع A أو B أو AB.

يُطلق أحيانًا على النوع AB اسمالمتلقي العالميلأن هذا النوع من ا لدم يفتقر إلى الأجسام المضادة لكل من مضاد A ومضاد B؛ وبالتالي، لن يتجمع مع كريات الدم الحمراء للمتبرع من أي نوع ABO. ومع ذلك ، يتجاهل هذا حقيقة أن بلازماالمتبرعيمكن أن تتجمع مع كريات الدم ا لحمراءللمتلقيإذا احتوت على مضاد A أو مضاد B أو كلاهما. لأسباب مماثلة، يُطلق على النوع O أحيانًا اسمالمتبرع العالمي.ومع ذلك، يمك ن لبلازما متبرع من النوع O أن تتجمع مع كريات الدم الحمراء لمتلقٍ من النوع A أو B أو AB. هناك إجراءات لتقليل خطر رد فعل نقل الدم في بعض حالات عدم التطابق، مثل إعطاء كريات دم حمراء مركزة مع أقل كمية ممكنة من البلازما.

يتم شرح التحديد الجيني لأنواع دم ABO في القسم 4.4c. على ا لرغم من أن وراثة نوع الدم عادةً ما تتبع النمط الموضح هناك، إلا أن ه ناك آليات تسمى*متغير cis-AB*و*الاختلاط الجيني (chimerism)*)كلاه ما خارج نطاق هذا الكتاب(يمكن من خلالها أن يختلف نوع دم الشخ ص عما هو متوقع من أنواع دم الوالدين. على سبيل المثال، قد يبدو م ن المستحيل، لكنه ليس كذلك، أن يكون لدى طفل من النوع O والد من النوع AB. الأنواع الدموية التي تبدو مستحيلة لا تعني بالضرورة أن

18.3ب مجموعة آر إتش

مجموعة دم Rh سُميت نسبةً إلى قرد الريسوس، حيث تم اكتشاف مستضدات Rh في عام 1940. تشمل هذه المجموعة العديد من م ستضدات خلايا الدم الحمراء، وأهم الأنواع منها هي C وD وE. مستض د D هو الأكثر تفاعلاً بين هذه المستضدات، لذا يُعتبر الأشخاص الذين لديهم مستضد D)التركيب الجيني *DD* أو *Dd*)
الأشخاص الذين يحملون مستضد Rh الإيجابي)Rh+(وأولئك الذين ي فتقرون إلى المستضد)التركيب الجيني dd(هم Rh سلبيين)Rh–(. ي تم اختبار فصيلة دم Rh باستخدام مادة مضادة لـ D. غالبًا ما يتم دمج فصيلة Rh مع فصيلة ABO في تعبير واحد مثل O+ لفصيلة O، Rh إيج ابي؛ أو AB– لفصيلة AB، Rh سلبي. تختلف ترددات Rh بين المجموعا ت العرقية تمامًا كما هو الحال مع ترددات ABO. حوالي 85% من الأمر يكيين البيض هم Rh+ و15% هم Rh–، في حين أن حوالي 99% من الآ سيويين هم Rh+. لا تؤثر فصيلة دم ABO على فصيلة Rh أو العكس. إذ ا كانت نسبة فصيلة O بين البيض في الولايات المتحدة 45%، و85% م نهم أيضًا Rh+، فإن تردد الأفراد ذوي فصيلة O+ هو حاصل ضرب هذه الترددات المنفصلة:

0.45 × 0.85 = 0.38، أو83٪.

على عكس مجموعة ABO، فإن الأجسام المضادة لـ D لا تكون مو جودة عادة في الدم. تتكون فقط في الأفراد الذين يحملون فصيلة دم Rh - والذين يتعرضون لدم Rh+. إذا تلقى شخص Rh- نقل دم من فصيلة Rh+، فإن المتلقي ينتج أجسامًا مضادة لـ D. وبما أن الأج سام المضادة لـ D لا تظهر فورًا، فإن هذا يشكل خطورة قليلة في أول ن قل دم غير متطابق. ولكن إذا تلقى هذا الشخص لاحقًا نقل دم آخر من فصيلة Rh+، فقد تتسبب أجسامه المضادة لـ D في تكتل كريات الدم ا لحمراء للمتبرع.

18.3ج مجموعات دم أخرى

مجموعة ABO وRh ليستا المجموعتين الوحيدتين المعروفتين للدم. هنا ك على الأقل 33 مجموعة دم، مع أكثر من 300 مستضد على كريات الدم ا لحمراء بالإضافة إلى A وB وD. تشمل المجموعات الأخرى دافي)Duffy(وكيل)Kell(وكيد)Kidd(ولويس)Lewis(ومجموعة MNS. نادرًا ما تس بب هذه المجموعات ردود فعل نقل الدم، لكنها مفيدة لأغراض قانونية م ثل قضايا الأبوة والجرائم وللبحوث في الأنثروبولوجيا وعلم الوراثة السكانية. ومع ذلك، بعد أن أصبح تسلسل الحمض النووي أكثر اقتصادية، فقد حل مح ل تحديد فصيلة الدم في العديد من هذه التطبيقات.

18.3د عدم تطابق الأم والجنين

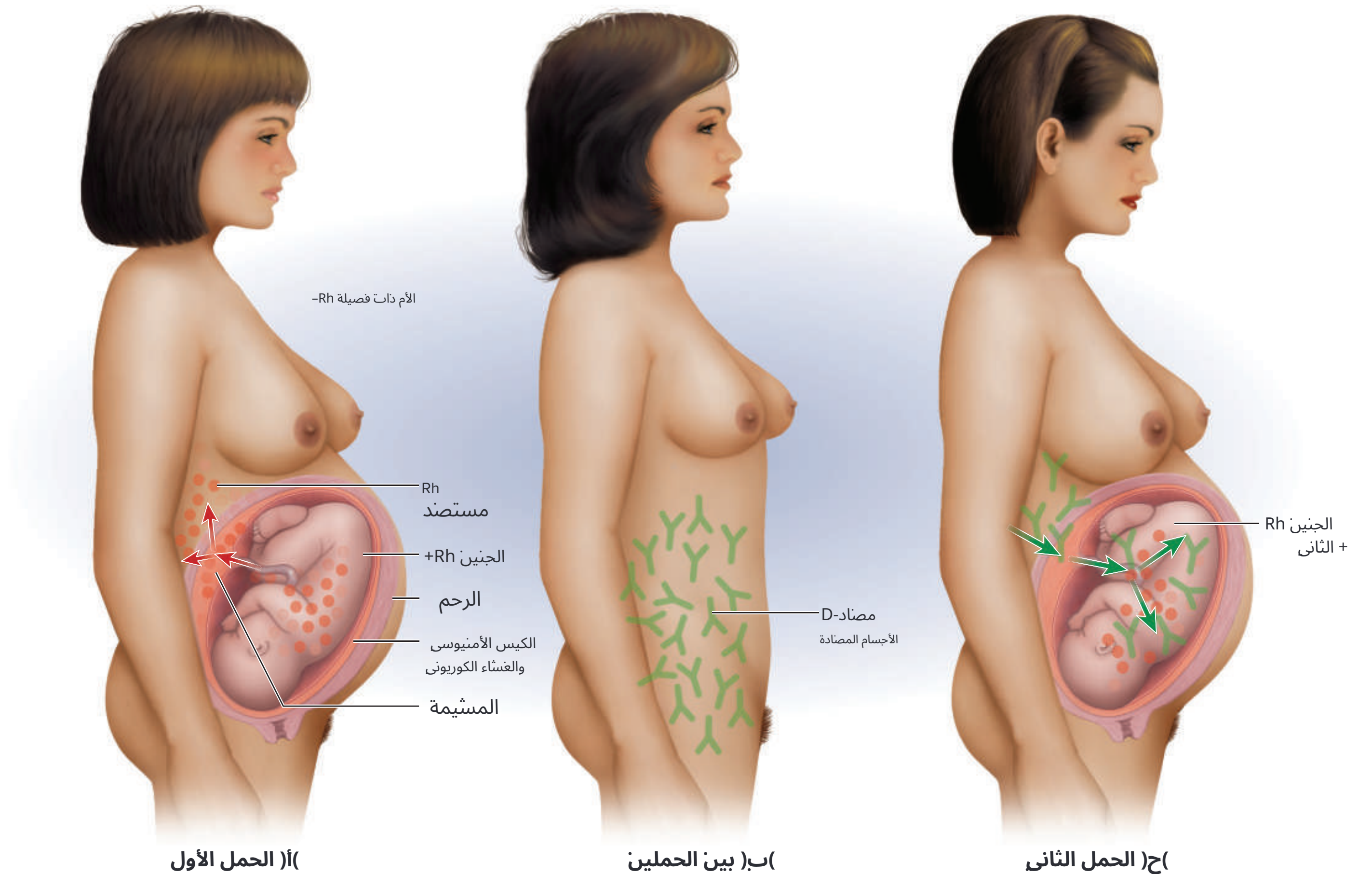
يمكن أن تحدث حالة تسمى مرض انحلال الدم عند الوليد)HDN(، أو إريثروبلاستوسيس فيتاليس، عندما تحمل المرأة جنينًا بفصيلة دم غي ر متطابقة—وأشهر الحالات، ولكن ليست كلها، عندما تكون الأم Rh- وتحمل جنينًا Rh+. من المرجح أن تكون الحمل الأول بدون مشاكل لأ ن المشيمة

فى الحالات الأكثر شدة، قد يُعطى *نقل الدم التبادلى* لاستبدال دم ال طفل Rh+ تمامًا بدم Rh−. مع مرور الوقت، ستستبدل أنسجة تكوين الدم لدى الطفل كريات الدم الحمراء للمتبرع بخلايا Rh+، وبحلول ذلك الوقت تكون أجسام الأم المضادة قد اختفت من دم الطفل.

مرض HDN المرتبط بـ Rh، مثل العديد من الاضطرابات الأخرى ، أسهل فى الوقاية منه منه فى العلاج. إذا أنجبت امرأة Rh− طفلًا Rh +)أو أجهضت(، يمكن إعطاؤها *الغلوبولين المناعى المضاد لـ Rh*)ا لمباع تحت أسماء تجارية مثل RhoGAM وGamulin Rh). يرتبط الغ لوبولين المناعى بمستضدات كريات الدم الحمراء الجنينية بحيث لا ى مكنها تحفيز جهازها المناعى لإنتاج مضاد-D. من الشائع الآن إعطاء ا لغلوبولين المناعى فى الأسبوع 28 إلى 32 من الحمل وعند الولادة فى أى حمل تكون فيه الأم Rh−.

على الرغم من أن عدم تطابق Rh يسبب أشد حالات HDN، إلا أنه لى س السبب الأكثر شيوعًا. اثنان من كل ثلاثة حالات ناتجة عن عدم تطابق AB O. فى حوالى 15% من حالات الحمل فى الولايات المتحدة، ت كون الأم من فصيلة O وجنينها من فصيلة A أو B أو AB. حوالى 3% من هذه الحالات تؤدى أيضًا إلى HDN، ولكن عادةً ما تكون الأعراض خفيفة. عدم ال تطابق فى مجموعة دم Kell هو السبب الثالث الأكثر شيوعًا لـ HDN، يليه ع دم التطابق فى مجموعات دم Kidd وDuffy.

عادةً ما يمنع اختلاط دم الأم والجنين.
ومع ذلك، إذا حدث تسرب فى المشيمة أثناء الحمل، أو عند الولادة، أ و إذا حدث إجهاض، تتعرض الأم لدم جنين Rh+، فتنتج أجسامًا مضا دة لمضاد D
)الشكل 18.15(.إذا حملت مرة أخرى بجنين Rh+، يمكن لتلك الأجسام الم ضادة أن تمر عبر المشيمة وتتجمع مع كريات دم الجنين الحمراء. تتحلل كر يات الدم الحمراء المتجمعة، ويولد الطفل بفقر دم انحلالى، المعروف بمر ض انحلال الدم عند حديثى الولادة)HDN(.
إذا كانت المرأة ذات فصيلة دم Rh− قد حملت سابقًا مرة أو أكثر بأجنة Rh+، فإن أطفالها Rh+ اللاحقين لديهم احتمال حوالى 17% للولادة بمرض انحلال الدم عند الوليد)HDN(. غالبًا ما يكون هؤلاء الأطفال مصابين بفقر دم شديد. ومع اس تجابة الأنسجة المكونة للدم فى الجنين للحاجة إلى المزيد من كريات الدم الحمراء، تدخل الأرثروبلاستات)كريات الدم الحمراء غير الناضجة(إلى الدورة الدموية مبكرًا —ومن هنا جاء اسم إريثروبلاستوسيس فيتاليس .
تطلق كريات الدم الحمراء المنحللة الهيموغلوبين، الذى يتحول إلى ال بيليروبين. يمكن أن تسبب مستويات البيليروبين العالية *الكيرنيكتيرو س* ، وهو متلازمة تلف دماغى سام قد تكون قاتلة أو تترك الطفل يعا نى من عجز حركى وحسى وعقلى. يمكن علاج HDN باستخدام *العلاج الضوئى* —تعريض الطفل للأشعة فوق البنفسجية، التى تحلل البيليرو بين أثناء مرور الدم عبر شعيرات الجلد.



الشكل 18.15 مرض تحلل الدم عند الوليد)HDN(.)أ(عندما تكون المرأة Rh− حاملًا بجنين Rh+، تتعرض لمستضدات D (Rh)، خاصة أثناء الولادة.)ب(بع د تلك الحمل، ينتج جهازها المناعى أجسامًا مضادة لمضاد-D.)ح(إذا أصبحت حاملًا لاحقًا بطفل Rh+ آخر، يمكن لأجسامها المضادة لمضاد-D عبور المشيم ة وتكتل دم ذلك الجنين، مما يسبب ولادة الطفل مصابًا بمرض تحلل الدم عند الوليد.



نظرة أعمق 18.3

التطبيق السريري

زرع نخاع العظم ودم الحبل السرى

زرع نخاع العظم هو أحد خيارات العلاج لمرض اللوكيميا، مرض الخلايا المنجلية، و بعض الاضطرابات الأخرى. المبدأ هو القضاء على نخاع العظم الأصلى للمريض بوا سطة الإشعاع أو العلاج الكيميائى، بما فى ذلك خلايا T المناعية التى قد تهاجم الن خاع المزروع، ثم استبداله بخلايا جذعية من المتبرع على أمل أن تعيد بناء مجموعة من نخاع العظم وخلايا الدم الطبيعية. يُسحب النخاع من عظم القص أو عظم الور ك للمتبرع ويُحقن فى دورة المريض الدموية. تستعمر الخلايا الجذعية للمتبرع تجاو يف نخاع المريض، ومن الناحية المثالية، تبنى نخاعًا صحيًا.

ومع ذلك، هناك عيوب فى هذا الإجراء. من الصعب إيجاد متبرعين متوافقين؛ قد تهاجم خلايا T المتبقية فى المريض نخاع المتبرع؛ وقد تهاجم خلايا T للمتبرع أ نسجة المريض)استجابة الطعم مقابل المضيف(. لمنع رفض الطعم، يجب على ا لمريض تناول أدوية مثبطة للمناعة مدى الحياة. هذه الأدوية تجعل الشخص عرض ة للعدوى ولها آثار جانبية ضارة أخرى. أحيانًا تُصاب العدوى من النخاع المزروع نف سه. باختصار، زرع النخاع هو

إجراء عالى المخاطر؛ يموت ما يصل إلى ثلث المرضى بسبب مضاعفات العلاج)انظر حالة ديفيد فيتر فى الشكل 21.29(.

البديل هو استخدام دم المشيمة، الذى يُتخلص منه عادةً عند كل ولادة. يحتوى دم المشيمة على خلايا جذعية أكثر من نخاع العظم البالغ، ومن غير المرجح أن يح مل ميكروبات معدية. بموافقة الوالدين، يمكن جمعه من الحبل السرى باستخدام محقنة وتخزينه لفترة طويلة فى بنوك دم الحبل السرى. الخلايا المناعية غير الناض جة فى دم الحبل السرى أقل ميلاً لمهاجمة أنسجة المتلقى؛ لذلك، فإن زراعة دم ا لحبل السرى لها معدلات رفض أقل ولا تتطلب تطابقًا دقيقًا بين المتبرع والمتلق ى، مما يعنى توفر المزيد من المتبرعين للمرضى المحتاجين. تم تطوير زراعة دم ا لحبل السرى فى الثمانينيات، وقد عالجت بنجاح اللوكيميا ومجموعة واسعة من أم راض الدم الأخرى.

قد يتم تجاوز استخدام دم الحبل السرى قريبًا، مع ذلك، بجمع الخلايا الجذعية م ن الدم المحيطى)المأخوذ من الأوعية الدموية(. الدم المحيطى أكثر سهولة من نخا ع العظم، ومع التحسينات فى التقنية، يوفر استبدالاً أسرع للخلايا الجذعية المكونة للدم فى المتلقى.

18.4أ شكل ووظيفة الكريات البيضاء

اللوكوسيتات، أو خلايا الدم البيضاء)WBCs(، هى أقل العناصر المتكو نة وفرةً، حيث يبلغ مجموعها فقط من ٥٠٠٠ إلى ١٠٠٠٠ خلية دم بى ضاء/ميكرولتر. ومع ذلك، لا يمكننا العيش طويلاً بدونها، لأنها توفر الح ماية ضد العدوى والأمراض الأخرى. يمكن التعرف على خلايا الدم البى ضاء بسهولة فى شرائح الدم المصبوغة لأنها تحتوى على نوى بارزة ت صبغ من البنفسجى الفاتح إلى البنفسجى الداكن باستخدام أكثر الص بغات الدموية شيوعًا. وهى أكثر وفرة بكثير فى الجسم مما يوحى به ع ددها القليل فى شرائح الدم، لأنها تقضى فقط بضع ساعات فى مجر ى الدم، ثم تهاجر إلى الأنسجة الضامة وتقضى بقية حياتها هناك. الأم ر يشبه أن يكون مجرى الدم مجرد مترو أنفاق تأخذه خلايا الدم البيضاء إلى مكان عملها؛ ففى شرائح الدم، نرى فقط تلك التى فى طريقها إلى العمل، وليس خلايا الدم البيضاء التى تعمل بالفعل فى الأنسجة.

تختلف الكريات البيضاء عن كريات الدم الحمراء فى أنها تحتفظ بعضويّاتها طوال الحياة؛ لذلك، عند رؤيتها بواسطة المجهر الإلكترونى النافذ، تظهر بنية داخلية معقدة)الشكل 18.16(. من بين عضويّاتها الأدوات المعتادة لتخليق البروتين — النواة، الشبكة الإندوبلازمية الخشنة، الريبوسومات، ومركب جولج ى — لأن الكريات البيضاء يجب أن تخليق البروتينات من أجل أداء و ظائفها. بعض هذه البروتينات تُعبأ فى الليسوسومات وعضويّات أخر ى، التى تظهر كحبيبات سيتوبلازمية بارزة تميز نوعًا من الكريات البي ضاء عن الآخر.

18.4ب أنواع الكريات البيضاء

كما هو موضح فى بداية هذا الفصل، هناك خمسة أنواع من الكريات ا لبيضاء. يتم التمييز بينها بناءً على حجمها النسبى وكثافتها، حجم وش كل نواتها، ووجود أو غياب بعض الحبيبات السيتوبلازمية، خشونة وخ صائص تلوين تلك الحبيبات، والأهم من ذلك وظائفها. يرتفع أو ينخ فض عدد أنواع الكريات البيضاء الفردية فى حالات مرضية وحالات ف سيولوجية مختلفة.

طبق ما تعرفه

عادةً ما يعانى الطفل المصاب بمرض تحلل الدم عند الوليد من اليرقان وتضخم الطحال. اشرح هذه التأثيرات.

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

13. ما هى الأجسام المضادة والمستضدات؟ كيف تتفاعل لتسبب رد فعل نقل الدم؟
14. ما هى الأجسام المضادة والمستضدات الموجودة فى الأشخاص الذين لديه م كل من الأنواع الدموية الأربعة لنظام ABO؟
15. وصف أسباب، والوقاية، وعلاج مرض انحلال الدم عند حديثى الولادة)HDN(.
16. لماذا قد يهتم شخص ما بتحديد فصيلة دمه بخلاف نظام ABO/ Rh؟

الكريات البيضاء 18.4

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمالك لهذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

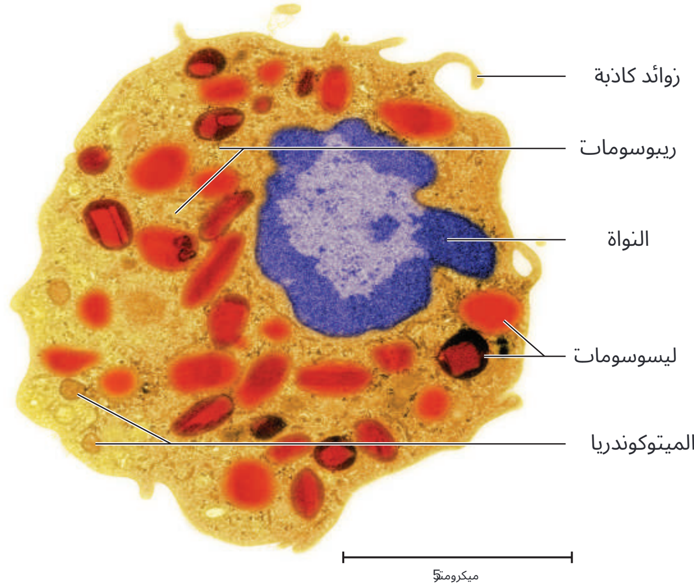
أ. شرح وظيفة الكريات البيضاء بشكل عام والدور الفردى لكل نوع من أنواع الكريات البيضاء؛

ب. وصف مظهر ووفرة كل نوع من أنواع الكريات البيضاء؛

ج. وصف تكوين وتاريخ حياة الكريات البيضاء؛ و

د. مناقشة أنواع وأسباب وتأثيرات فرط ونقص الكريات البي ضاء.

هذه الخيوط أحيانًا تكون دقيقة جدًا لدرجة أنها بالكاد تُرى، و قد يبدو أن العدلة لها نوى متعددة. العدلات الشابة لها نواة ع لى شكل شريط غير مقسمة وتسمى *خلايا الشريط*. العدلات تُسمى أيضًا *كريات الدم متعددة الأشكال النووية (PMNs)* بسبب أشكال نواتها المتنوعة. يحتوى السيتوبلازم على ح بيبات نوعية دقيقة تتراوح ألوانها من الأحمر إلى البنفسجى، تحتوى على ليسوزيم وعوامل مضادة للميكروبات أخرى. الحبي بات الفردية بالكاد تُرى بالمجهر الضوئى، لكن تأثيرها المجمع يعطى السيتوبلازم لونًا بنفسجيًا شاحبًا. العدلات هى خلايا مضا دة للبكتيريا بشكل نشط. أعدادها ترتفع — حالة تسمى *كثر ة العدلات* — استجابةً للعدوى البكتيرية. تدمر البكتيريا بطرق متعددة مفصلة فى الفصل 21.



الشكل 18.16 هيكل خلية الدم البيضاء (المجهر الإلكترونى النافذ). هذا المثال هو حمضية. الليسوسومات التى تُرى هنا باللون البرتقالى هى الحبيبات الوردية الخشنة التى تظهر فى الحمضية فى الجدول 18.6.

سكوت كامازين/صورة من الامى ستوك

- الحمضات (إيوزينوفيلز) يصعب العثور عليها فى شريحة الد م لأنها تشكل فقط 2% إلى 4% من عدد كريات الدم البى ضاء، بمتوسط حوالى 170 خلية/ميكرولتر. على الرغم من ندرتها ا لنسبية فى الدم، فإن الحمضات وفيرة فى الأغشية المخاطية للجهاز التنفسى والهضمى والمسالك البولية السفلية. عادةً ما تحتوى نواة الحمضات على فصين كبيرين متصلين بخيط رفيع، ويحتوى السيتوبلازم على وفرة من الحبيبات النوعية الخشنة ذ ات اللون الوردى إلى البرتقالى. تفرز الحمضات مواد كيميائية تضعف أو تدمر الطفيليات الكبيرة نسبيًا مثل الديدان الخط فية والديدان الشريطية، التى تكون كبيرة جدًا بحيث لا يمكن لأى خلية دم بيضاء واحدة ابتلاعها. كما تبتلع الحمضات وتزيل المو اد الكيميائية الالتهابية، ومجمعات المستضد-الأجسام الم ضادة، والمواد المسببة للحساسية (المستضدات الأجنبية ا لتى تحفز الحساسية). يمكن أن تسبب الحساسية، والعدوى الط فيلية، وأمراض الكولاجين، وأمراض الطحال والجهاز العصبى الم ركزى ارتفاعًا فى عدد الحمضات يسمى *كثرة الحمضات*. عدد الحمضات يتقلب أيضًا بشكل كبير بين الليل والنهار، و بشكل موسمى، ومع مرحلة الدورة الشهرية.
- القاعديات هى أندر العناصر المُشكلة كلها. يبلغ متوسطها حو 40 خلية/ميكرولتر وعادةً ما تشكل أقل من 0.5% من عدد كريات الدم البيضاء (خلية واحدة من كل 200 خلية). يمكن التعرف عليها بشكل رئيسى بفضل وفرة الحبيبات الخاصة الخشنة والداكنة البنفسجية. النواة مخفية إلى حد كبير عن الأنظار بواسطة هذه الحبيبات، لكنها كبيرة، باهتة، وعادةً ما تكون على شكل S أو U. تفرز القاعديات مادتين كيميائيتين تساعدان فى عمليات الدفاع بالجسم: (1) الهيستامين، موسع للأوعية الدموية يقوم بتوسيع الأوعية الدموية، يسرع تدفق الدم إلى النسيج المصاب، ويجعل الأوعية الدموية أكثر نفاذية بحيث يمكن لمكونات الدم مثل العدلات وبروتينات التجلط أن تدخل الأنسجة الضامة بسرعة أكبر؛ و(2) الهيبارين، م ضاد للتخثر يمنع تجلط الدم وبالتالى يعزز حركة خلايا الدم البى ضاء الأخرى فى المنطقة. كما يفرزون إشارات كيميائية تجذب ال حمضات والعدلات إلى موقع العدوى.

جميع كريات الدم البيضاء تحتوى على ليسوسومات تسمى الح بيبات غير النوعية فى *السيتوبلازم، وتسمى أيضًا* الحبيبات الأزوروفى لية 18 لأنها تمتص الأصباغ الزرقاء أو البنفسجية فى صبغات الدم. ثلا ثة من الأنواع الخمسة — العدلات، الحمضات، والقاعديات — تُسمى الخلايا الحبيبية لأنها تحتوى أيضًا على أنواع مختلفة من الحبيبات ال نوعية التى تصبغ بشكل واضح وتميز كل نوع خلية عن الآخر. القاعديا ت سُميت بهذا الاسم لأن حبيباتها النوعية تصبغ بالميثيلين الأزرق، و هو صبغة أساسية فى خليط صبغ الدم الشائع المسمى صبغة رايت. ا لحمضات سُميت كذلك لأنها تصبغ بالإيوزين، وهو صبغة حمضية فى صبغة رايت. الحبيبات النوعية للعدلات لا تصبغ بشدة سواء بالصبغا ت الأساسية أو الحمضية.

الألوان فى الوصف والجدول التاليين هى تلك التى تُرى عادةً مع صبغ ة رايت، ولكن قد تختلف على الشرائح التى تفحصها بسبب استخدام صبغات أخرى. الحبيبات النوعية تحتوى على إنزيمات ومواد كيميائية أخرى، خاصة بوظيفة كل نوع من الخلايا الحبيبية، تُستخدم فى الدفاع ضد الممرضات. النوعان المتبقيان من كريات الدم البيضاء — الوحيدا ت واللمفاويات — يُسمون الخلايا غير الحبيبية لأنها تفتقر إلى الحبي بات النوعية. الحبيبات غير النوعية غير واضحة تحت المجهر الضوئى، ولذلك تبدو هذه الخلايا ذات سيتوبلازم واضح نسبيًا. الجدول 18.6 يع رض المظهر ويلخص خصائص ووظائف كل من الأنواع التالية من كر يات الدم البيضاء.

الخلايا الحبيبية

- العدلات (نيوتروفيلز) هى أكثر أنواع كريات الدم البيضا ء وفرة — عادة حوالى 4150 خلية/ميكرولتر وتشكل 60% إ لى 70% من الكريات البيضاء الدائرة. النواة واضحة الرؤية، و فى العدلة الناضجة، تتكون عادة من ثلاث إلى خمس فصوص م تصلة بخيوط نووية رفيعة.

خلايا غير حبيبية

- الخلايا اللمفاوية (LIM-fo-sites) تأتى فى المرتبة الثانية بعد العدلات من حيث العدد، ولذلك يتم ملاحظتها بسر عة عند فحص شريحة دم. يبلغ متوسطها حوالى 2200 خلية/ميكرولتر وتشكل 25% إلى 33% من عدد خلايا الدم ال بيضاء. تشمل أصغر خلايا الدم البيضاء؛ حيث يتراوح قطرها بي ن 5 إلى 17 ميكرومتر، وتتراوح من أصغر من خلايا الدم الحم راء إلى ضعف حجمها ونصفه. تُصنف أحيانًا إلى ثلاث فئات ح جمية (الجدول 18.6)، لكن هناك تدرجات بينها. المتوسط والكبير

[18] *أزورو* = أزرق؛ *فيليك* = محب

الجدول 18.6 خلايا الدم البيضاء)اللوكوسيتات(

العدلات	
العد التفريقى)% من خلايا الدم البيضاء(	60% إلى 70%
المتوسط العد المطلق	4150 خلية/ميكرولتر
القطر	9–12 ميكرومتر
المظهر	
عادةً ما يكون النواة مكونة من 3–5 فصوص مرتبة على شكل S أو C	
حبيبات دقيقة حمراء إلى بنفسجية محددة فى السيتوبلازم	
التغيرات فى العدد	
زيادة فى العدوى البكتيرية	
الوظائف	
ابتلاع البكتيريا	
إفراز مواد مضادة للميكروبات	
الحمضات	
العد التفريقى)% من خلايا الدم البيضاء(	2% إلى 4%
المتوسط العد المطلق	165 خلية/ميكرولتر
القطر	10–14 ميكرومتر
المظهر	
عادةً ما يحتوى النواة على فصين كبيرين متصلين بخيط رفيع	
حبيبات محددة كبيرة برتقالية-وردية فى السيتوبلازم	
التغيرات فى العدد	
تتغير بشكل كبير من النهار إلى الليل، موسمياً، ومع مرحلة دورة الحيضتزداد فى حالات العدو ى الطفيلية، والحساسية، وأمراض الكولاجين، وأمراض الطحال والجهاز العصبى المركزى	
الوظائف	
تبتلع مركبات المستضد-الأجسام المضادة، والمواد المسببة للحساسية، والمواد الكيميائية الالتهابية	
تفرز إنزيمات تضعف أو تدمر الطفيليات مثل الديدان	
القاعديات	
العد التفريقى)% من خلايا الدم البيضاء(	< 0.5%
المتوسط العد المطلق	44 خلية/ميكرولتر
القطر	8–10 ميكرومتر
المظهر	
النواة كبيرة وشكلها يشبه الحرف U إلى S، لكنها عادةً باهتة وغير واضحة للرؤية	
حبيبات محددة خشنة، وفيرة، ذات لون بنفسجى داكن فى السيتوبلازم	
التغيرات فى العدد	
مستقرة نسبياً	
تزداد فى الجدرى المائى، التهاب الجيوب الأنفية، داء السكرى، الوذمة المخاطية، وتعدد كريات الدم الحمراء	
الوظائف	
تفرز الهيستامين)موسع للأوعية الدموية(، الذى يزيد من تدفق الدم إلى النسيج	
تفرز الهيبارين)مضاد للتخثر(، الذى يعزز حركة خلايا الدم البيضاء الأخرى عن طريق منع التجلط	

العدلات 10 ميكرومتر

الحمضات 10 ميكرومتر

القاعديات 10 ميكرومتر

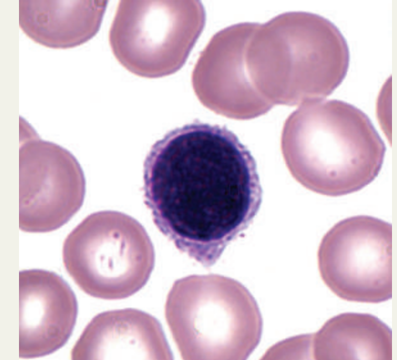
القاعديات، لكن معظم القاعديات تكون حبيبية بشكل واضح، بينما يكون نواة اللمفاوية موحدة أو مجرد مرقطة. كما تفتقر القاعديات إلى حافة السيتوبلازم الصافى التى تُرى فى معظم اللمفاويات. أحيانًا تكون اللمفاويات الكبيرة

عادةً ما تُرى اللمفاويات فى الأنسجة الضامة الليفية وفقط أحيانًا فى الدم المتداول)انظر الشكل 18.1(. اللمفاويات التى تُرى فى شرائح الدم تكون فى الغالب من فئة الحجم الصغير. وغالبًا ما يكون من الصعب التمييز بينها وبين

الجدول 18.6 خلايا الدم البيضاء)الكريات البيضاء( )تابع(

الخلايا اللمفاوية

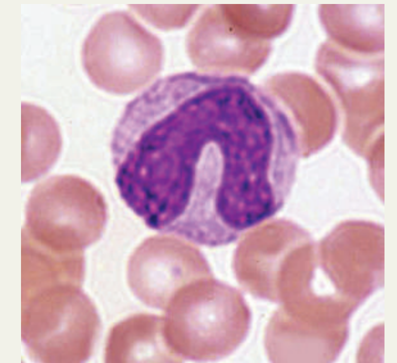
العد التفريقى)% من خلايا الدم البيضاء(	25% إلى 33%
المتوسط العد المطلق	2,185 خلية/ميكرولتر
القطر	
الفئة الصغيرة	٥-٨ ميكرومتر
الفئة المتوسطة	١٠-٢١ ميكرومتر
الفئة الكبيرة	٤١-٧١ ميكرومتر
المظهر	
النواة دائرية أو بيضاوية أو بها انبعاج طفيف على جانب واحد، بلون بنفسجى داكن موحد أو مرقط	
فى الخلايا اللمفاوية الصغيرة، تملأ النواة تقريبًا كامل الخلية وتترك فقط حافة ضئيلة من السيتوبلازم الشفاف الأزرق الفاتح.	
فى الخلايا اللمفاوية الأكبر، يكون السيتوبلازم أكثر وفرة؛ قد يكون من الصعب التمييز بين الخلايا اللم فاوية الكبيرة والوحيدات.	
التغيرات فى العدد	
زيادة فى الالتهابات المتنوعة والاستجابات المناعية	
الوظائف	
عدة فئات وظيفية عادةً لا يمكن تمييزها بالمجهر الضوئى	
تدمر الخلايا السرطانية، والخلايا المصابة بالفيروسات، والخلايا الغريبة	
تعرض المستضدات لتنشيط خلايا أخرى من الجهاز المناعى	
تنسيق أعمال خلايا الجهاز المناعى الأخرى	
إفراز الأجسام المضادة	
تعمل فى ذاكرة المناعة	



لمفاوى

الوحيدات

العد التفريقى)% من خلايا الدم البيضاء(	٣٪ إلى ٨٪
المتوسط العد المطلق	٤٥٦ خلية/ميكرولتر
القطر	١٢-١٥ ميكرومتر
المظهر	
النواة بيضاوية أو على شكل كلية أو على شكل حدوة حصان؛ بنفسجية	
سيتوبلازم وفير مع حبيبات دقيقة غير محددة متناثرة	
أحيانًا كبيرة جدًا بأشكال نجمية أو متعددة الأضلاع	
التغيرات فى العدد	
زيادة فى العدوى الفيروسية والالتهابات	
الوظائف	
تتحول إلى البلاعم)خلايا بلعمية كبيرة فى الأنسجة(	
تبتلع مسببات الأمراض والعدلات الميتة وحطام الخلايا الميتة	
تعرض المستضدات لتنشيط خلايا أخرى من جهاز المناعة	



وحيدة النواة

صور:)العدلات، الحمضات، اللمفاويات(: Alvin Telser/McGraw Hill)القاعديات(: LindseyRN/Shutterstock;)الوحيدات(: Victor P. Eroschenko

اللمفاويات الكبيرة. هناك عدة فئات فرعية من اللمفاويات ذا
ت وظائف مناعية مختلفة)انظر الفصل 21(، ولكن لا يمكن تم
ييزها من خلال الفحص المجهرى لأفلام الدم. بشكل جماعى،
تقوم بتدمير الخلايا التى أصيبت بالفيروسات أو تحولت إلى خ
بيثة، والخلايا الأجنبية)بما فى ذلك الطفيليات(التى تم إدخالها
إلى

يصعب التمييز بينها وبين الخلايا الوحيدة. نواة اللمفاويات دا
ئرية أو بيضاوية أو بها انبعاج طفيف من جانب واحد، وعادةً م
ا تصبغ باللون البنفسجى الداكن. فى اللمفاويات الصغيرة، تملأ ا
لنواة تقريبًا كامل الخلية وتترك فقط حافة ضيقة من السيتوبلاز
م الأزرق الفاتح، وغالبًا ما تكون بالكاد مرئية، حول محيط الخ
لية. السيتوبلازم أكثر وفرة فى اللمفاويات المتوسطة و

لا تبقى كريات الدم البيضاء المتداولة فى الدم لفترة طويلة.
تدور الخلايا الحبيبية لمدة 4 إلى 8 ساعات ثم تهاجر إلىالأنسجة حيث
تعيش لمدة 4 أو 5 أيام أخرى. تسافر الخلايا الوحيدة فيالدم لمدة 10 إ
لى 20 ساعة، ثم تهاجر إلى الأنسجة وتتحول إلى مجموعة متنوعة من
البلعميات، التى يمكن أن تعيش لعدة سنوات. تعيش الخلايا اللمفاو
ية، المسؤولة عن المناعة طويلة الأمد، من بضعة أسابيع إلى عقود؛
تترك مجرى الدم إلى الأنسجة وفى النهاية تدخل الأوعية اللمفاوية، ال
تى تفرغها مرة أخرى فى مجرى الدم. وهكذا، يتم إعادة تدويرها باستمر
ار من الدم إلى سائل الأنسجة إلى اللمف ثم إلى الدم.

عندما تموت كريات الدم البيضاء، يتم عادةً التهامها وهضمها بوا
سطة البلعميات. ومع ذلك، فإن العدلات الميتة مسؤولة عن اللون ال
كريمى للقيح، وأحيانًا يتم التخلص منها عن طريق تمزق الفقاعة على
سطح الجلد.

▶▶▶ طبق ما تعرفه

يُكتب أحيانًا أن كريات الدم الحمراء)RBCs(لا تعيش طويلاً مثل كر
يات الدم البيضاء)WBCs(لأن كريات الدم الحمراء لا تحتوى على ن
واة وبالتالى لا يمكنها إصلاح نفسها أو الحفاظ عليها. اشرح الخطأ
فى هذا الحجة.

18.4د اضطرابات كريات الدم البيضاء

العدد الكلى لكريات الدم البيضاء عادةً ما يكون من 5000 إلى 10000 خلية/مى
كرولتر. العدد الذى يقل عن هذا النطاق، والذى يُسمى نقص كريات الدم البى
ضاء)leukopenia([19]لوكو-بينى-آ(، يُرى فى حالات التسمم بالرصاص والزرنيخ
والزئبق؛ مرض الإشعاع؛ وبعض الأمراض المعدية مثل الحصبة، النكاف، الجدر
ى المائى، شلل الأطفال، الإنفلونزا، الحمى التيفية، والإيدز. كما يمكن أن ينتج ع
ن استخدام الجلوكوكورتيكويدات، أدوية مكافحة السرطان، وأدوية مثبطة للمناع
ة تُعطى لمرضى زراعة الأعضاء. وبما أن كريات الدم البيضاء هى خلايا حماية،
فإن نقص كريات الدم البيضاء يزيد من خطر الإصابة بالعدوى والسرطان. العدد
الذى يزيد عن 10000 خلية/ميكرولتر، والذى يُسمى كثرة كريات الدم البيضاء)l
eukocytosis)[20]عادةً ما يشير إلى وجود عدوى أو حساسية أو أمراض أخرى،
لكنه قد يحدث أيضًا استجابةً للجفاف أو الاضطرابات العاطفية. أكثر فائدة من ا
لعدد الكلى لكريات الدم البيضاء هو العد التفريقى لكريات الدم البيضاء)differ
ential WBC count(، الذى يحدد نسبة كل نوع من أنواع كريات الدم البيضاء
ضمن العدد الكلى)انظر التعمق 18.4(.

اللوكيميا هى سرطان الأنسجة المكونة للدم والذى عادةً ما ينتج ع
ددًا هائلًا من الكريات البيضاء المتداولة وسلفاتها)الشكل 18.18(.
تصنف اللوكيميا إلى نوعين رئيسيين: النخاعى أو اللمفاوى، حاد أو مز
من. اللوكيميا النخاعية تتميز بإنتاج غير متحكم فيه للخلايا الحبيبية،
فى حين أن اللوكيميا اللمفاوية تنطوى على إنتاج غير متحكم فيه للخ
لايا اللمفاوية أو الخلايا الوحيدة. اللوكيميا الحادة تظهر فجأة، وتتقدم
بسرعة، وتسبب الوفاة خلال بضعة أشهر إذا لم تُعالج. اللوكيميا المزم
نة تتطور ببطء أكثر وقد تمر دون اكتشاف لعدة أشهر إلى سنوات. فى
الواقع، اللوكيميا اللمفاوية المزمنة بطيئة جدًا)بطيئة التطور أو التسب
ب فى الضرر(لدرجة أن الأطباء غالبًا ما يختارون عدم علاجها على الإط
لاق بل يتبعون مسار "المراقبة اليقظة". تحدث كل من اللوكيميا النخا
عية واللمفاوية بأشكال حادة ومزمنة. أكبر نجاح فى العلاج والشفاء كا
ن مع اللوكيميا اللمفاوية الحادة، وهو أكثر أنواع السرطان شيوعًا فى م
رحلة الطفولة. يشمل العلاج العلاج الكيميائى وزرع النخاع إلى جانب ا
لسيطرة على الآثار الجانبية مثل فقر الدم، والنزيف، والعدوى.

الجسم؛ تفرز مواد كيميائية تتواصل مع خلايا الدم البيضاء الأخ
رى وتنسق أفعالها؛ تعرض المستضدات لتنشيط الاستجابات ا
لمناعية؛ تنتج الخلايا التى تفرز الأجسام المضادة؛ وتوفر مناعة
طويلة الأمد ضد مسببات الأمراض.

• الخلايا الوحيدة)MON-oh-sites(عادةً ما تكون أكبر خلا
يا الدم البيضاء المرئية على شريحة الدم، وغالبًا ما تكون ضعف أو
ثلاثة أضعاف قطر خلايا الدم الحمراء. يبلغ متوسطها حوالى 4
60 خلية/ميكرولتر وحوالى 3% إلى 8% من عدد خلايا الدم ا
لبيضاء. النواة كبيرة وواضحة وغالبًا ما تكون بلون بنفسجى فا
تح، وعادةً ما تكون بيضاوية أو على شكل كلية أو حدوة حصان. ا
لسيتوبلازم وفير ويحتوى على حبيبات دقيقة متناثرة. فى أفلام ا
لدم المحضرة، غالبًا ما تتخذ الخلايا الوحيدة أشكالًا حادة الزوا
يا أو شوكية)انظر الشكل 18.1(. يرتفع عدد الخلايا الوحيدة فى
حالات الالتهاب والعدوى الفيروسية. تبدأ الخلايا الوحيدة عملها
فقط بعد مغادرتها مجرى الدم وتحولها إلى خلايا نسيجية كبير
ة تسمى البلعميات الكبيرة (MAC-ro-fay-jez).
البلعميات الكبيرة هى خلايا ذات قدرة عالية على البلعمة تسته
لك الخلايا الميتة أو المحتضرة من الجسم والخلايا الأجنبية، و
المواد الكيميائية الممرضة والكائنات الدقيقة، وغيرها من ا
لمواد الغريبة. كما يشير اسمها، فهى "الآكلات الكبيرة" التى
تستهلك ما يصل إلى 25% من كتلتها الخاصة فى الساعة، وه
و ما يعادل تناول إنسان 35 رطلاً من الطعام فى الساعة. كما
تقوم بتقطيع أو معالجة المستضدات الأجنبية وعرض شظايا م
نها على سطح الخلية لتنبيه الجهاز المناعى بوجود مسبب مرض.
لذلك، تُسمى هى وبعض الخلايا الأخرى *خلايا عرض المست
ضد)APCs(*. تُفصل وظائف البلعميات الكبيرة بشكل أعمق
فى الفصل 21.

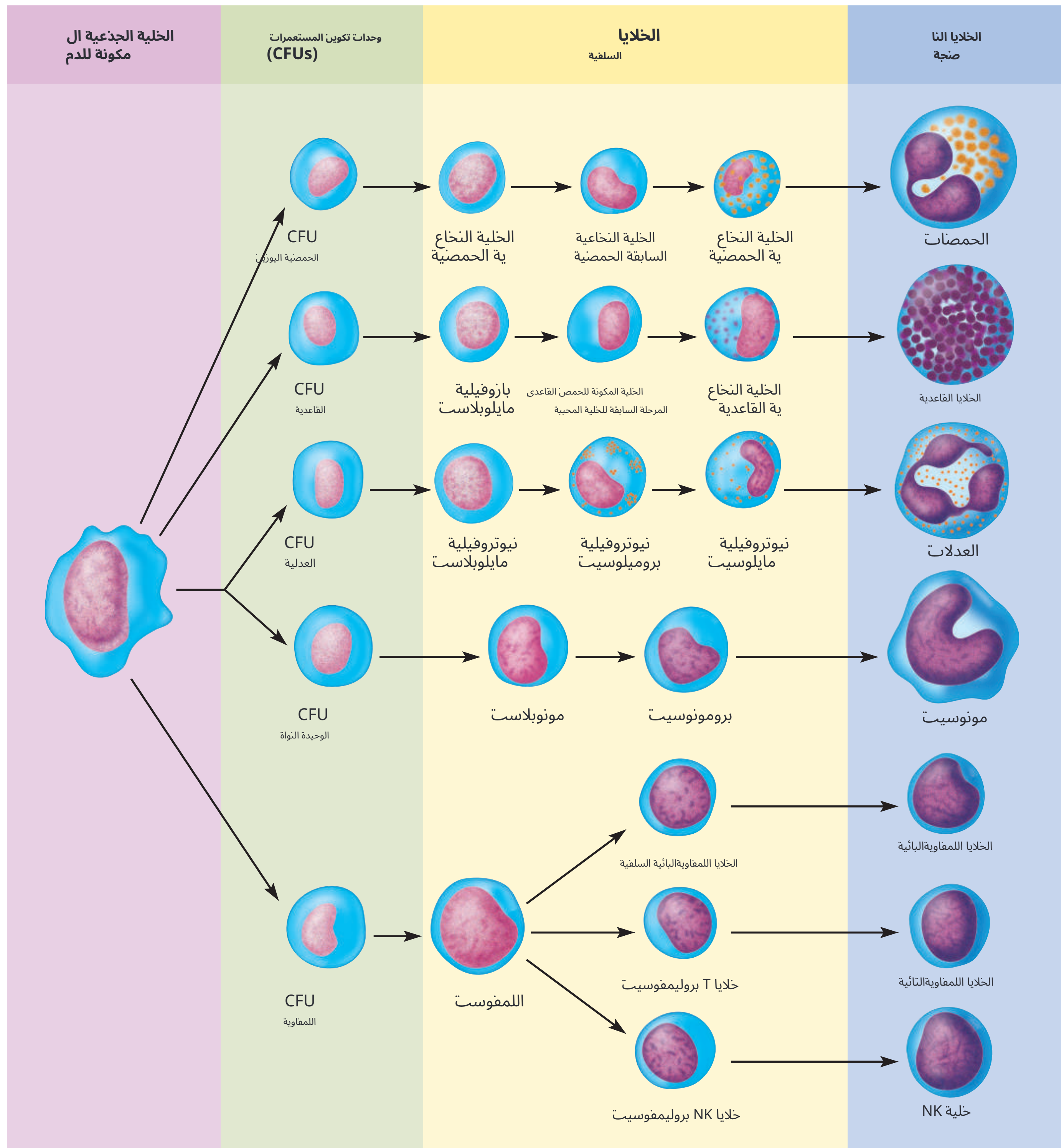
18.4ح تاريخ حياة الكريات البيضاء

تكوين الكريات البيضاء)LOO-co-poy-EE-sis(، إنتاج خلايا الد
م البيضاء، يبدأ من نفس الخلايا الجذعية المكونة للدم)HSCs(كما ف
ى تكوين كريات الدم الحمراء. تتخصص بعض الخلايا الجذعية إلى أنوا
ع مميزة من وحدات تكوين المستعمرات)CFUs(التى تنتج خطوط ا
لخلايا التالية)المنطقة الصفراء، "الخلايا السلفية"، فى الشكل 18.17(
، وكل منها ملتزم الآن بشكل لا رجعة فيه بنتيجة معينة.

1. *الخلايا النخاعية الأولية*، التى تتمايز فى النهاية إلى الأنواع الثلاثة من الحبيبات)العدلات، الحمصات، والقاعديات(
2. *الوحيدات البدائية*، التى تبدو متطابقة مع الخلايا النخاعية البدائية ولكنها تؤدى فى النهاية إلى الوحيدات
3. *الخلايا اللمفاوية المتكونة)Lymphoblasts(، التى تُنتج جميع أنواع الخلايا اللمفاوية*

تحتوى وحدات تكوين المستعمرات)CFUs(على مستقبلات لعوامل تحفيز المستعمرات)CSFs(.
تفرز الخلايا اللمفاوية الناضجة والبلعميات عدة أنواع منعوامل تحفيز الم
ستعمرات)CSFs(استجابةً للعدوى والتحديات المناعية الأخرى. كلعامل
تحفيز مستعمرات يحفز نوعًا مختلفًا من خلايا الدم البيضاء على التطور
استجابةًللحاجات المحددة. وبالتالى، قد تؤدى العدوى البكتيرية إلى تح
فيز إنتاج العدلات، فى حين تحفز الحساسية إنتاج الحمصات، وكل عمل
ية تعمل من خلال عامل تحفيز مستعمراتها الخاص.
يخزن نخاع العظم الأحمر الخلايا الحبيبية والوحيدات حتى
يتم الحاجة إليها ويحتوى على 10 إلى 20 ضعف عدد هذه الخلايا
مقارنةً بالدم المتداول. تبدأ الخلايا اللمفاوية فى التطور
فى نخاع العظم لكنها لا تبقى هناك. بعض الأنواع تنضج هناك
وأخرى تهاجر إلى الغدة الزعترية)التيموس(لإكمال تطورها.
تستعمر الخلايا اللمفاوية الناضجة من كلا الموقعين بعد ذلك الطحال،
العقد اللمفاوية، وغيرها من الأعضاء والأنسجة اللمفاوية.

[19] *leuko*= أبيض؛ *penia*= نقص
[20] *leuko* = أبيض؛ *cyt* = خلية؛ *osis* = حالة



الشكل 18.17 تكوين الكريات البيضاء. مراحل تطور خلايا الدم البيضاء. الخلية الجذعية المكونة للدم على اليسار هى أيضًا المصدر النهائى لكريات الدم الحمراء)انظر الشكل 18.6(والخلايا المنتجة للصفائح الدموية.

اشرح معنى وأهمية الشكل المركب myelo- الذى يظهر فى العديد من أسماء هذه الخلايا.

جيش من الأطفال، موجود بأعداد هائلة لكنه غير ناضج بما يكفى لأداء دور دفاعى مفيد. نقص الكريات البيضاء الكفؤة يجعل المريض عرض ة لـ العدوى الانتهازية — وهى استيطان الكائنات الممرضة التى عادة لا تستطيع التمكن من الأشخاص ذوى الأجهزة المناعية السليمة. نق ص كريات الدم الحمراء

مع تكاثر خلايا اللوكيميا، تحل محل نخاع العظم الطبيعى ويعانى ا لشخص من نقص فى الخلايا الحبيبية الطبيعية، وكريات الدم الحمراء ، والصفائح الدموية. على الرغم من إنتاج أعداد هائلة من الكريات البى ضاء وتسربها إلى مجرى الدم، إلا أنها لا توفر الوظائف الوقائية المعتاد ة للكريات البيضاء. فهى مثل



DEEPER INSIGHT 18.4

التطبيق السريرى

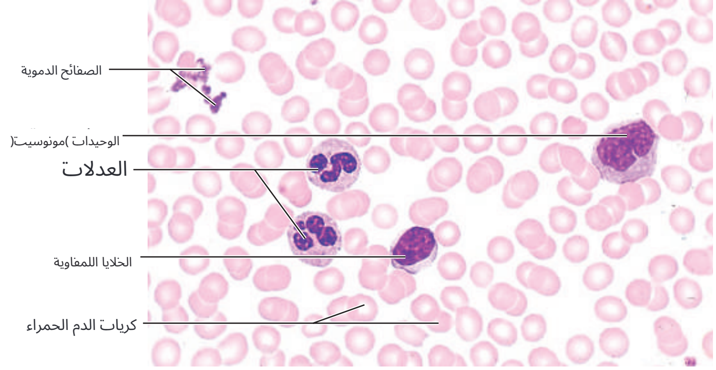
العد الدموى الكامل

يُعد العد الدموى الكامل)CBC(واحدًا من أكثر الفحوصات المخبرية شيوعًا فى كل من الفحوصات الطبية الروتينية وتشخيص الأمراض. يوفر العد الدموى الكامل ملفًا غنيًا بالمعلومات حول عدة قيم دموية: عدد كريات الدم الحمراء)RBCs(، وكريات الدم البيضاء)WBCs(، والصفائح الدموية لكل ميكرولتر من الدم؛ والأعداد النسبية)النسب المئوية(لكل نوع من أنواع كريات الدم البيضاء ، والتى تُسمى العد التفريقى

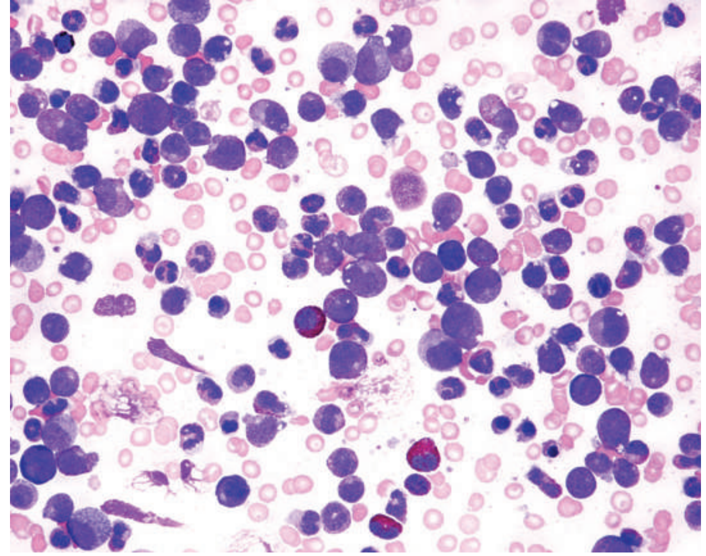
عدد كريات الدم البيضاء؛ الهيماتوكريت؛ تركيز الهيموغلوبين؛ ومؤشرات مختلفة لكريات الدم الحمراء مثل حجم كريات الدم الحمراء المتوسط)MCV(وتركيز الهيموغلوبين لكل كريات دم حمراء)MCH(.

كان عد كريات الدم الحمراء والبيضاء يتطلب سابقًا فحصًا مجهريًا لأفلام الدم المخفف على شريحة معايرة، وكان العد التفريقى لكريات الدم البيضاء يتطلب فحص أفلام الدم المصبوغة. اليوم، تستخدم معظم المختبرات أجهزة عد إلكترونية للخلايا. تقوم هذه الأجهزة بسحب عينة دم عبر أنبوب ضيق مزود بحساسات تحدد أنواع الخلايا وتقيس أحجامها ومحتوى الهيموغلوبين فيها. تعطى هذه الأجهزة نتائج أسرع وأكثر دقة بناءً على أعداد خلايا أكبر بكثير من الطرق البصرية القديمة. ومع ذلك، لا تزال أجهزة العد تخطئ فى تحديد بعض الخلايا، ويجب على فنى المختبر مراجعة النتائج للكشف عن الشذوذات المشبوهة وتحديد الخلايا التى لا يستطيع الجهاز التعرف عليها.

كمية المعلومات التى يوفرها العد الدموى الكامل كبيرة جدًا بحيث لا يمكن ذكر سوى بعض الأمثلة هنا. تشير أشكال مختلفة من فقر الدم إلى انخفاض عدد كريات الدم الحمراء أو وجود شذوذات فى حجمها أو شكلها أو محتوى الهيموغلوبين فيها. يمكن أن يشير نقص الصفائح الدموية إلى رد فعل سلبى تجاه دواء معين. يشير ارتفاع عدد العدلات إلى وجود عدوى بكتيرية، وارتفاع عدد الحمضات يشير إلى وجود حساسية أو عدوى طفيلية. يمكن أن تشير الأعداد المرتفعة لأنواع معينة من كريات الدم البيضاء أو خلايا جذع كريات الدم البيضاء إلى أشكال مختلفة من اللوكيميا)سرطان الدم(. إذا لم يوفر العد الدموى الكامل معلومات كافية أو أشار إلى اضطرابات أخرى، قد تُجرى اختبارات إضافية مثل زمن التجلط وخزعة نخاع العظم.



)أ(



)ب(

الشكل 18.18 الدم الطبيعى والدم المصاب باللوكيميا.)أ(مسحة دم طبيعية.
)ب(دم من مريض يعانى من اللوكيميا النقوية المزمنة. لاحظ العدد غير الطبيعى العالى من كريات الدم البيضاء، وخاصة الوحيدات، فى الجزء)ب(.

؟ مع وجود كل هذه الخلايا البيضاء الزائدة، لماذا لا تزداد قدرة الجسم على مكافحة العدوى فى حالة اللوكيميا؟

a: Ed Reschke; b: Jose Luis Calvo/Shutterstock

تجعل المريض يعانى من فقر الدم والإرهاق، ونقص الصفائح الدموية يؤدى إلى النزيف وضعف تجلط الدم. السبب المباشر للوفاة عادةً ما يكون النزيف أو العدوى. غالبًا ما تنتشر الأنسجة الدموية السرطانية من نخاع العظم أو العقد اللمفاوية إلى أعضاء أخرى فى الجسم، حيث تحل محل الخلايا الطبيعية أو تتنافس معها. الانتشار إلى نسيج العظم نفسه شائع ويؤدى إلى ألم فى العظام والمفاصل.

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

17. ما هى الوظيفة العامة للكريات البيضاء؟

18. سرد الأنواع الخمسة للكريات البيضاء حسب الترتيب من حيث الوفرة، تحديد ما إذا كان كل منها من الكريات الحبيبية أو غير الحبيبية، ووصف وظائف كل منها.

19. ما القاسم المشترك بين تكوين الكريات البيضاء)leukopoiesis(وتكوين كريات الدم الحمراء)erythropoiesis(؟ وكيف يختلفان؟

20. ما الذى يمكن أن يسبب ارتفاعًا أو انخفاضًا غير طبيعى فى عدد الكريات البيضاء؟ افترض أن الأرومات النخاعية)myeloblasts(بدأت تتكاثر بشكل 21. غير مسيطر عليه، لكن تطوره اللاحق طبيعى. ما أنواع الكريات البيضاء الناضجة التى ستنتج بشكل مفرط؟ ما الأنواع التى لن تُنتج؟

18.5 الصفائح الدموية والتحكم فى النزيف

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمالك لهذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف آليات الجسم للتحكم فى النزيف؛

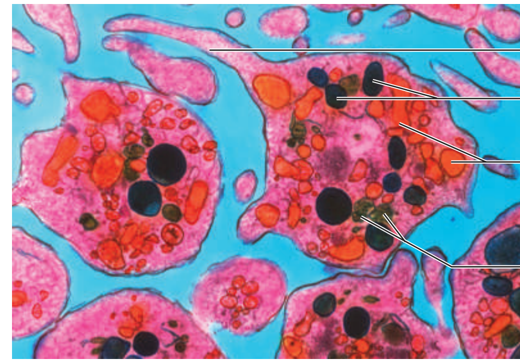
ب. سرد وظائف الصفائح الدموية

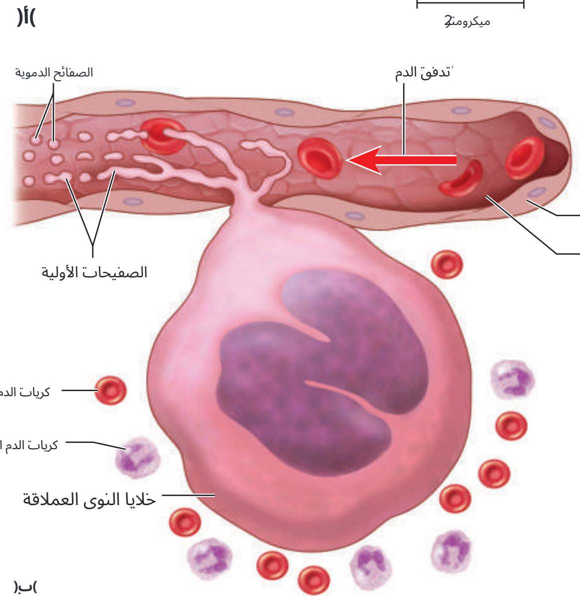
ج. وصف مسارين تفاعليين ينتجان جلطات الدم؛

د. اشرح ما يحدث لجلطات الدم عندما لا تكون مطلوبة بعد الآن؛

هـ. اشرح ما الذى يمنع الدم من التجلط فى غياب الإصابة؛ و

و. وصف بعض اضطرابات تجلط الدم.





الشكل 18.19 الصفائح الدموية.)أ(بنية الصفائح الدموية)المجهر الإلكترونى النافذ(.)ب(إنتاج الصفائح الدموية عن طريق قص البروصفائح من خلايا النوى العملاقة. لاحظ أحجام خلايا النوى العملاقة والصفائح مقارنة بخلايا الدم الحمراء وخلايا الدم البيضاء. APR

أ: NIBSC/مكتبة صور العلوم/مصدر العلوم

-الخلايا الملتزمة بخط إنتاج الصفائح الدموية. ميغاكاريو بلاست

تكرر الخلية النوى العملاقة تكرار الحمض النووى دون أن تخضع لانقسام نووى أو انقسام - خلوى. النتيجة هى خلية نوى عملاقة)ميغاكاريوسيت(، وهى خلية ضخمة يصل قطرها إلى 150 ميكرومتر، مرئية بالعين المجردة، ذات نواة متعددة ال[23] فصوص ومجموعات متعددة من الكروموسومات)الشكل 18.19 ب(. تعيش معظم - خلايا النوى العملاقة فى نخاع العظم الأحمر المجاور للمساحات المملوءة بالدم المسماة الجيوب، والمبطنة بطبقة طلائية بسيطة رقيقة تسمى البطانة)انظر الشكل 21.9(. ومع ذلك، كشفت الأبحاث الحديثة على الحيوانات أن خلايا النوى العملاقة تهاجر بحرية بين الرئتين ونخاع العظم وتنتج معظم الصفائح الدموية أثناء وجودها فى الرئتين. ولا يزال تأكيد ما إذا كان هذا صحيحًا لدى البشر قيد الانتظار. تنمو من خلية النوى العملاقة خيوط طويلة تسمى البروصفائح التى تبرز عبر البطانة إلى دم الجيب. يقوم تدفق الدم بقص البروصفائح، التى تتحلل إلى صفائح دموية أثناء تنقلها فى مجرى الدم. يُعتقد أن معظم هذا التحلل يحدث عندما تمر عبر الأوعية الدموية الصغيرة لـ

تطورت أنظمة الدوران فى وقت مبكر جدًا من تطور الحيوانات، ومعها تطورت آليات لإيقاف التسريبات، التى قد تكون مميتة. التوقف عن النزف)Hemostasis(هو وقف النزيف. على الرغم من أن آليات التوقف عن النزف قد لا توقف النزيف من وعاء دموى كبير، إلا أنها فعالة جدًا فى إغلاق الفواصل فى الأوعية الصغيرة. تلعب الصفائح الدموية أدوارًا متعددة فى التوقف عن النزف، لذا نبدأ بالنظر فى شكلها ووظيفتها.

18.5a شكل ووظيفة الصفائح الدموية

الصفائح الدموية ليست خلايا بل هى شظايا صغيرة من خلايا النخاع تسمى -)megakaryocytes(. وهى ثانى أكثر العناصر المتكونة وفرة بعد كريات الدم الحمراء؛ يتراوح عدد الصفائح الدموية الطبيعى فى الدم المأخوذ من وخز الإصبع بين 130,000 إلى 400,000 صفيحة دموية/ميكرولتر)بمتوسط حوالى 250,000(. ومع ذلك، يمكن أن يختلف عدد الصفائح الدموية بشكل كبير تحت ظروف فسيولوجية مختلفة وفى عينات الدم المأخوذة من أماكن مختلفة فى الجسم. على الرغم من أعدادها، فإن الصفائح الدموية صغيرة جدًا)2 إلى 4 ميكرومتر(بحيث تساهم أقل من كريات الدم البيضاء فى حجم الدم.

تمتلك الصفائح الدموية بنية داخلية معقدة تشمل الليسوسومات، الميتوكوندريا، الأنابيب الدقيقة، والخيوط الدقيقة؛ وحبيبات مليئة بإفرازات الصفائح الدموية؛ ونظام قنوات يسمى النظام القنوى المفتوح، الذى يفتح على سطح الصفيحة الدموية)الشكل 18.19 أ(. لا تحتوى على نواة. عند تنشيطها، تشكل أقدامًا كاذبة وقادرة على الحركة الأميبية.

على الرغم من صغر حجمها، تمتلك الصفائح الدموية تنوعًا أكبر فى الوظائف مقارنة بأى من خلايا الدم الحقيقية:

- تفرز مواد ضيقة للأوعية، وهى مواد كيميائية تحفز الانقباض التشنجى للأوعية الدموية المكسورة وتساعد على تقليل فقدان الدم.
- تلتصق معًا لتشكيل سدادات صفيحية مؤقتة تسد الكسور الصغيرة فى الأوعية الدموية المصابة.
- - تفرز عوامل تجلط الدم أو عوامل التخثر التى تعزز تكوين جلطات دموية أكثر ديمومة من سدادات الصفائح الدموية.
- تبدأ فى تكوين إنزيم يذيب الجلطات الدموية التى تجاوزت فائدتها. تفرز مواد كيميائية تجذب العدلات والوحيدات إلى مواقع الالتهاب.
-
- تبتلع وتدمر البكتيريا.

- تفرز عوامل نمو تحفز الانقسام الخلوى فى الأرومات الليفية والعضلات الملساء وبالتالى تساعد فى الحفاظ على الأوعية الدموية وإصلاحها.

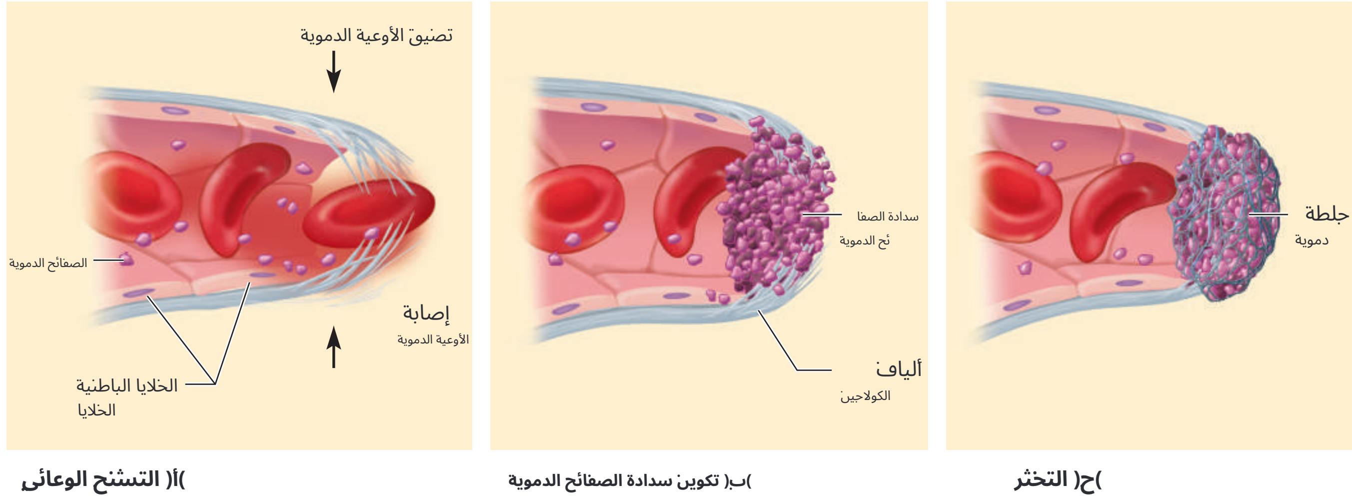
تفرز عوامل نمو تحفز الانقسام الخلوى فى الأرومات الليفية والعضلات الملساء وبالتالى تساعد فى الحفاظ على الأوعية الدموية وإصلاحها.

18.5ب إنتاج الصفائح الدموية

إنتاج الصفائح الدموية هو فرع من التكوّن الدموى يسمى تخثر الدم)thrombopoiesis( )ثروم-بو-بو-إى-سيس(.)تُسمى الصفائح أحيانًا بالثرومبوسايتات. 22(يُحفز تخثر الدم بواسطة هرمون من الكبد والكلى يسمى ثرومبوبويتين)THROM-bo-POY-eh-tin(. بعض الخلايا الجذعية المكونة للدم تطور مستقبلات للثرومبوبويتين وتحت تأثيره تصبح

21هيمو = الدم؛ الركود = الاستقرار
22 ثرومبو = التخثر؛ سايت = خلية

23 ميغا = عملاق؛ كاريو = نواة؛ سايت = خلية



الشكل 18.20 توقف النزيف.)أ(تضيق الأوعية الدموية المكسورة يقلل من النزيف.)ب(يتكون سدادة من الصفائح الدموية عندما تلتصق الصفائح بالألياف المكشوفة من الكولاجين في جدار الوعاء الدموي. تسد سدادة الصفائح الدموية الكسر مؤقتًا.)ح(يتكون جلطة دموية عندما تُحاصر الصفائح الدموية في خيوط الفبرين. يشكل هذا سدادة تدوم لفترة أطول ويمنح الوعاء فرصة لإصلاح نفسه.

كيف تختلف الجلطة الدموية عن سدادة الصفائح الدموية؟

عندما ينكسر، تتعرض ألياف الكولاجين في جدار الوعاء الدموي للدم. عند ملامسة الكولاجين أو الأسطح الخشنة الأخرى، تنمو الصفائح الدموية زوائد شوكية طويلة تلتصق بالوعاء الدموي وبالصفائح الدموية الأخرى؛ ثم تنقبض هذه الزوائد وتجذب جدران الوعاء معًا. الكتلة الناتجة من الصفائح الدموية، والتي تسمى سدادة الصفائح الدموية، يمكن أن تقلل أو توقف النزيف الطفيف. سدادة الصفائح الدموية تكون أرخى وأكثر حساسية من الجلطة الدموية التي تليها؛ ولهذا السبب، يجب تجفيف الجرح النازف بورق ماص بدلاً من مسحه.

عندما تتجمع الصفائح الدموية، تخضع لعملية إفراز الحبيبات — وهي إخراج حبيباتها السيتوبلازمية وإطلاق عوامل تعزز التوقف عن النزف. من بين هذه العوامل السيروتونين، وهو مضيق للأوعية الدموية؛ وأدينوسين ثنائي الفوسفات (ADP)، الذي يجذب المزيد من الصفائح الدموية إلى المنطقة ويحفز إفراز حبيباتها؛ و ثرومبوكسان 2A وهو إيكوسانويد يعزز تجمع الصفائح الدموية، وإفراز الحبيبات، وتضيق الأوعية. وهكذا، يتم تنشيط دورة تغذية راجعة إيجابية يمكنها إغلاق كسر صغير في الوعاء الدموي بسرعة.

التخثر

التخثر (تجلط) الدم هو الدفاع الأخير والأكثر فعالية ضد النزيف. من المهم أن يتجلط الدم بسرعة عند انكسار وعاء دموي، ولكن من المهم بنفس القدر ألا يتجلط في غياب تلف الوعاء. بسبب هذا التوازن الدقيق، يُعد التخثر من أكثر العمليات تعقيدًا في الجسم، حيث يشمل أكثر من 30 تفاعلًا كيميائيًا. يتم تقديمه هنا بشكل مبسط جدًا.

ربما يكون من الأفضل فهم التخثر إذا نظرنا أولاً إلى هدفه. الهدف هو تحويل بروتين البلازما الفيبرينوجين إلى فيبرين، وهو بروتين لزج يلتصق بجدران الوعاء الدموي. عندما تصل خلايا الدم والصفائح الدموية، تلتصق بالفيبرين مثل الحشرات في شبكة عنكبوت (الشكل 18.21، الصورة المرفقة). الكتلة الناتجة من الفيبرين وخلايا الدم والصفائح الدموية تغلق الكسر في الوعاء الدموي بشكل مثالي. تكمن تعقيدات التخثر في كيفية تكوين الفيبرين.

الرئتان، لأن تعداد الدم يُظهر دخول المزيد من الصفائح الدموية الأولية إلى الرئتين مقارنة بخروجها، وخروج المزيد من الصفائح الدموية. حوالي 25% إلى 40% من الصفائح الدموية مخزنة في الطحال وتُفرج حسب الحاجة. الباقي يدور بحرية في الدم ويعيش حوالي 5 إلى 6 أيام. أي شيء يتداخل مع إنتاج الصفائح الدموية يمكن أن يُنتج نقصًا خطيرًا في الصفائح يُسمى نقص الصفيحات الدموية[24] (انظر الجدول 18.8).

18.5ح التوقف عن النزف

هناك ثلاث آليات للتوقف عن النزف—*تشنج الأوعية الدموية*، *تكوين سدادة الصفائح الدموية*، و *تخثر الدم (التجلط)* (الشكل 18.20). تلعب الصفائح الدموية دورًا مهمًا في الثلاثة جميعًا.

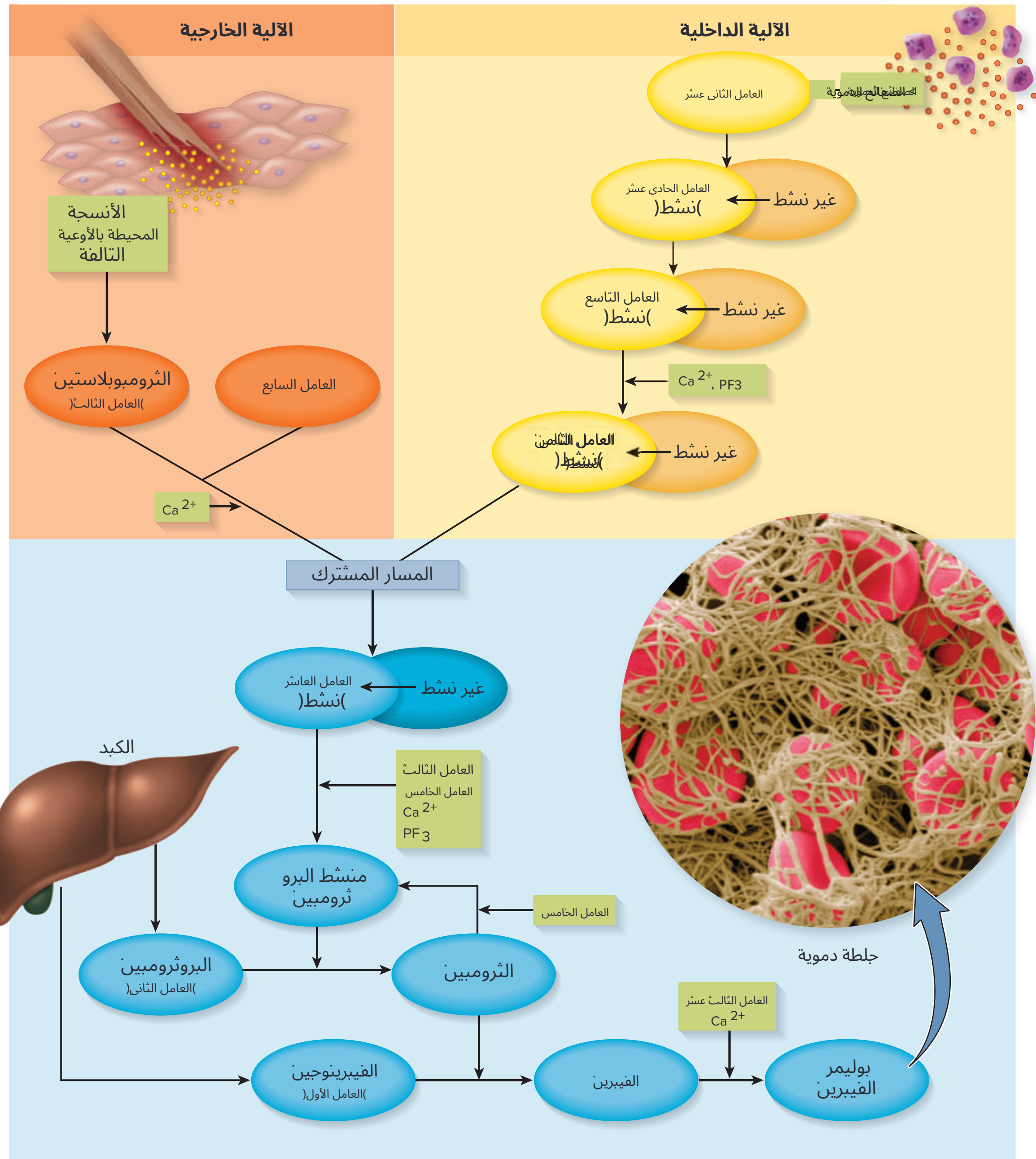
تشنج الأوعية الدموية

أسرع حماية ضد فقدان الدم هي تشنج الأوعية الدموية، وهو تضيق سريع للسفينة الدموية المكسورة. هناك عدة عوامل تحفز هذا التفاعل. الإصابة تحفز مستقبلات الألم، بعضها يعصب مباشرة الأوعية الدموية القريبة ويتسبب في تضيقها. يستمر هذا التأثير لبضع دقائق فقط، لكن آليات أخرى تتولى المهمة عند زواله. إصابة العضلات الملساء للسفينة الدموية نفسها تسبب تضيقًا أطول أمدًا، وتفرز الصفائح الدموية السيروتونين، وهو مادة كيميائية مضيقة للأوعية. وهكذا، يستمر تشنج الأوعية الدموية لفترة كافية لتفعيل الآليتين الأخريين للتوقف عن النزف.

تكوين سدادة الصفائح الدموية

الصفائح الدموية لا تلتصق بالبطانة التي تبطن الأوعية الدموية السليمة والقلب. البطانة عادةً ما تكون ناعمة جدًا ومغطاة بالبروستاسايكلين، وهو مادة طاردة للصفائح الدموية. عندما تتعرض السفينة

[24] خثرة = تجلط؛ خلية = خلية؛ نقص = نقص



الشكل 18.21 مسارات التخثر. معظم عوامل التخثر تعمل كإنزيمات تحول العامل التالى من شكل غير نشط إلى شكل نشط. جزىء إنزيم واحد فى أى مستوى معين ينشط العديد من جزيئات الإنزيم فى المستوى التالى، لذا فإن التأثير الكلى يتضخم فى كل خطوة. فى الإطار: كريات الدم الحمراء محاصرة فى شبكة من بوليمر الفيبرين اللاصق.

بعد قراءتك عن الهيموفيليا C لاحقًا فى القسم 18.5f، اشرح ما إذا كانت ستؤثر على الآلية الخارجية، الآلية الداخلية، أو كلاهما.

(فى الإطار: ستيف غشمايسنر/مكتبة صور العلوم/صور غيتى

قد يتجلط أيضًا، مع ذلك، بدون هذه العوامل النسيجية—على سبيل المثال، عندما تلتصق الصفائح الدموية بلويحة دهنية من تصلب الشرايين أو أنبوب اختبار. يُسمى مسار التفاعل فى هذه الحالة الآلية الداخلية (الجانب العلوى الأيمن من الشكل) لأنه يستخدم فقط عوامل التجلط الموجودة فى الدم نفسه. فى معظم حالات النزيف، تعمل كل من الآليتين الخارجية والداخلية فى آن واحد وتتفاعل مع بعضها البعض لتحقيق التوقف عن النزف.

هناك مساران للتفاعل من أجل التجلط. أحدهما، الآلية الخارجية (الجانب العلوى الأيسر من الشكل 18.21)، يبدأ بواسطة عوامل التجلط التى تُفرزها الأوعية الدموية التالفة والأنسجة المحيطة بالأوعية الدموية[25]. تشير كلمة *الخارجية* إلى أن هذه العوامل تأتى من مصادر خارج الدم نفسه. الدم

[25] *peri* = حوالى؛ *vas* = وعاء دموى؛ *cular* = متعلق بـ

الجدول 18.7 عوامل التخثر)العوامل المساعدة على التجلط(

الرقم	الاسم	الأصل	الوظيفة
الأول	فيبرينوجين	الكبد	مقدمة للفيبرين
الثانى	بروثرومبين	الكبد	مقدمة الثرومبين
III	ثرومبو بلاستين النسيج	النسيج المحيط بالأوعية الدموية	ينشط العامل السابع
V	بروأكسيليرين	الكبد	ينشط العامل السابع؛ يتحد مع العامل العاشر لتكوين منشط البروثرومبين
VII	بروكونفيرتين	الكبد	ينشط العامل العاشر فى المسار الخارجى
الثامن	عامل مضاد للهيموفيليا أ	الكبد	ينشط العامل العاشر فى المسار الداخلى
التاسع	عامل مضاد للهيموفيليا ب	الكبد	ينشط العامل الثامن
العاشر	ثرمبوكيناز	الكبد	يرتبط مع العامل الخامس لتكوين منشط البروثرومبين
الحادى عشر	عامل مضاد للهيموفيليا C	الكبد	ينشط العامل التاسع
XII	عامل هاجيمان	الكبد، الصفائح الدموية	ينشط العامل الحادى عشر والبلسمين؛ يحول البريكاليكرين إلى كاليكرين
XIII	عامل تثبيت الفيبرين	الصفائح الدموية، البلازما	يربط خيوط الفيبرين لتكوين بوليمر الفيبرين وتثبيت الجلطة
PF_1	عامل الصفائح الدموية 1	الصفائح الدموية	نفس دور العامل الخامس؛ كما يسرع تنشيط الصفائح الدموية
PF_2	عامل الصفائح الدموية 2	الصفائح الدموية	يسرع تكوين الثرومبين
PF_3	عامل الصفائح الدموية 3	الصفائح الدموية	يساعد فى تنشيط العامل الثامن ومنشط البروثرومبين
PF_4	عامل الصفائح الدموية 4	الصفائح الدموية	يرتبط بالهيبارين أثناء التجلط ليمنع تأثيره المضاد للتخثر

تُسمى عوامل التخثر العوامل المساعدة على التخثر، على عكس ا
لعوامل المضادة للتخثر التى ستُناقش لاحقًا)انظر التعمق 18.6(. مع
ظم العوامل المساعدة على التخثر هى بروتينات تُنتجها الكبد)الجدو
ل 18.7(. وهى دائمًا موجودة فى البلازما فى شكل غير نشط، ولكن ع
ندما يتم تنشيط عامل واحد، فإنه يعمل كإنزيم ينشط العامل التالى
فى المسار. هذا العامل ينشط التالى، وهكذا، فى تسلسل يُسمى سل
سلة التفاعلات — وهى سلسلة من التفاعلات، كل منها يعتمد على نا
تج التفاعل السابق. العديد من عوامل التخثر تُعرف بالأرقام الرومانية،
التى تشير إلى ترتيب اكتشافها، وليس ترتيب التفاعلات. العوامل IV
وVI غير مدرجة فى هذا الجدول. تم التخلى عن هذه المصطلحات عند
ما تبين أن العامل IV هو الكالسيوم والعامل VI هو العامل V المنشط
. آخر أربعة عوامل مساعدة على التخثر فى الجدول تُسمى عوامل الص
فائح الدموية (PF) 1 إلى PF 4؛ لأنها تُنتج بواسطة الصفائح الدموية.

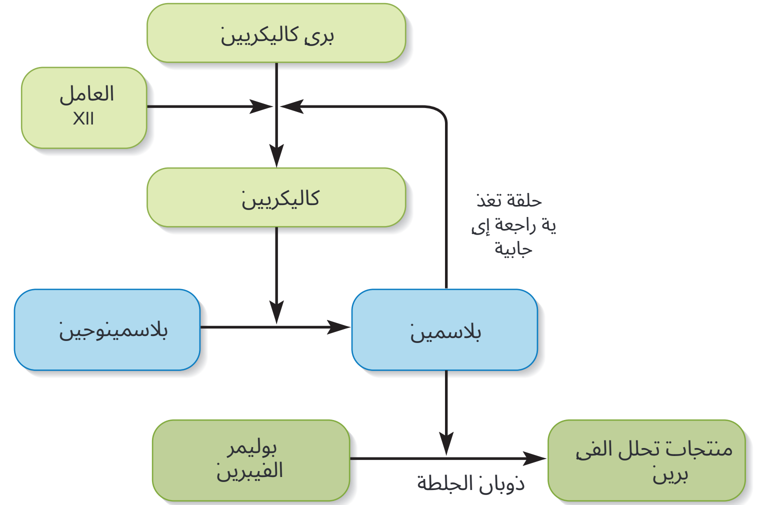
بدء التجلط تبدأ الآلية الخارجية عندما تقوم الأوعية الدموية التالفة والأ
نسجة المحيطة بها بإفراز مزيج من البروتينات الدهنية يُسمى نسيج ا
لتخثر [26])العامل الثالث(. يتحد العامل الثالث مع العامل السابع لتش
كيل مركب يقوم، بوجود Ca^{2+}، بتنشيط العامل العاشر. تختلف المسا
رات الخارجية والداخلية فقط فى طريقة وصولها إلى العامل العاشر ال
نشط.
تبدأ الآلية الداخلية عندما تقوم الصفائح الدموية بإفراز محتوياتها
وتطلق العامل الثانى عشر)عامل هاجمان، نسبةً للمريض الذى تم
اكتشافه فيه(. من خلال سلسلة من التفاعلات، يؤدى ذلك إلى تنشيط
العوامل الحادية عشر، التاسعة، والثامنة، بهذا الترتيب—كل منها
يعمل كإنزيم يحفز الخطوة التالية—وأخيرًا إلى العامل العاشر.
تتطلب هذه المسار أيضًا وجود Ca^{2+} وPF_3.

اكتمال التجلط بمجرد تنشيط العامل العاشر، تكون الأحداث المتبقية
متطابقة فى الآليتين الداخلية والخارجية، ولذلك تُسمى المسار الم
شترك)النصف السفلى من الشكل 18.21(. يتحد العامل العاشر مع
العوامل الثالث والخامس بوجود Ca^{2+} وPF_3 لإنتاج *منشط البروثروم
بين*. يعمل هذا الإنزيم على جلوبولين يُسمى البروثرومبين)العامل ال
ثانى(ويحوله إلى الإنزيم الثرومبين. ثم يقوم الثرومبين بتحويل الفيبر
ينوجين إلى خيوط أقصر من *مونومر الفيبرين*. ترتبط هذه المونومرات
تساهميًا ببعضها البعض من الطرف إلى الطرف لتشكيل ألياف أطو
ل من *بوليمر الفيبرين* .
يربط العامل الثالث عشر هذه الخيوط معًا ليخلق تجمعًا كثيفًا
يشكل الإطار الهيكلى لجلطة الدم.
بمجرد بدء تكوين الجلطة، يطلق عملية تغذية راجعة إيجابية
تسرع من إغلاق الوعاء الدموى التالف.
يعمل الثرومبين مع العامل الخامس لتسريع إنتاج منشط البروثرومبين،
الذى بدوره ينتج المزيد من الثرومبين.
تعمل سلسلة التفاعلات الإنزيمية كآلية تضخيم لضمان تجلط الد
م بسرعة)الشكل 18.22(. كل إنزيم منشط فى المسار ينتج عددًا أك
بر من جزيئات الإنزيم فى الخطوة التالية. على سبيل المثال، جزىء وا
حد من العامل الثانى عشر المنشط فى بداية المسار الداخلى ينتج ب
سرعة آلاف إن لم يكن ملايين جزيئات الفيبرين.

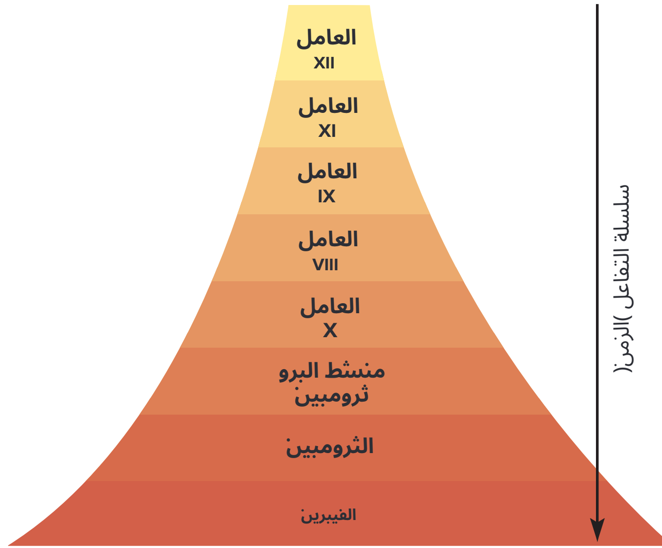
لاحظ التشابه بين هذه العملية و*تضخيم الإشارة* الذى يحدث فى
عمل الهرمونات)انظر الشكل 17.21(.
لاحظ أن الآلية الخارجية تتطلب خطوات أقل لتنشيط العامل العا
شر مقارنة بالآلية الداخلية؛ فهى "اختصار" للتجلط. يستغرق تكوين ج
لطة عبر المسار الداخلى من 3 إلى 6 دقائق، بينما يستغرق حو 15 ثان
ية فقط عبر المسار الخارجى. لهذا السبب، عندما ينزف جرح صغير، ى
مكنك إيقاف النزيف أسرع عن طريق تدليك الموقع. هذا يحرر التخثر ا
لنسيجى من الأنسجة المحيطة بالأوعية وينشط أو يسرع المسار الخار
جى.

بعد تكوين الجلطة، تلتصق الزوائد الشوكية للصفائح الدموية
بخيوط الفيبرين وتتقلص. هذا يشد على الفيبرين

[26] thrombo = جلطة؛ plast = تكوين؛ in = مادة



الشكل 18.23 آلية إذابة جلطات الدم.
يتم تحويل بريكاللِيكريين إلى كاليكريين. الكاليكريين هو إنزيم يحفز تكوين البلازمين. البلازمين هو إنزيم يذيب الجلطة الدموية.



الشكل 18.22 سلسلة التفاعلات فى تخثر الدم. كل عامل تخثر ينتج العديد من جزيئات العامل التالى، لذا يزداد عدد عوامل التخثر النشطة بسرعة و يتكون كمية كبيرة من الفبرين بسرعة. المثال المعروض هنا هو للآلية ا لذاتية (الداخلية).

17 كيف يقارن هذا بتضخيم الإشارة فى عمل الهرمونات (قارن الشكل 21.؟)

تشد الخيوط وتجمع حواف الوعاء المكسور معًا، مثل رباط يغلق حقي بة. من خلال هذه العملية انكماش الجلطة، تصبح الجلطة أكثر تماس كًا خلال حوالى 30 دقيقة.

يُستخدم عدد من الاختبارات المخبرية لتقييم كفاءة التجلط. عادةً ، يجب أن يتوقف النزيف من وخز الإصبع خلال 2 إلى 3 دقائق، ويج ب أن تتجلط عينة الدم فى أنبوب اختبار نظيف خلال 15 دقيقة. وق ت النزيف يُقاس بدقة أكبر بواسطة *طريقة آيفى* — حيث يتم نفخ ك فة ضغط الدم على الذراع إلى 40 ملم زئبق، وإحداث شق بعمق 1 مم فى الساعد، وقياس الوقت حتى يتوقف النزيف. عادةً يجب أن يتوق ف خلال 1 إلى 9 دقائق. تتوفر تقنيات أخرى يمكنها تقييم فعالية الآل يات الداخلية والخارجية بشكل منفصل.

18.5د مصير جلطات الدم

بمجرد تكوّن الجلطة، تبدأ عملية إصلاح الأنسجة المحلية. تفرز الصفائح الدموية وخلايا البطانة محفز انقسام يُسمى عامل نمو م شتق من الصفائح الدموية (PDGF). يحفز PDGF الخلايا الليفية وخلا يا العضلات الملساء على التكاثر وإصلاح الوعاء الدموى التالف. كما تغزو الخلايا الليفية الجلطة وتنتج نسيجًا ضامًا ليفيًا، مما يساعد على تقوية وختم الوعاء أثناء إجراء الإصلاحات.

فى النهاية، يكتمل إصلاح الأنسجة ويجب التخلص من الجلطة. ا لتحلل الليفى، وهو إذابة الجلطة، يتم بواسطة سلسلة صغيرة من الت فاعلات تحتوى على مكون تغذية راجعة إيجابى (الشكل 18.23). بالإضافة إلى تعزيز التخثر، يقوم العامل الثانى عشر بتحفيز تكوين إنزيم بلازمى يُسمى كاليكريين (KAL-ih-KREE-in). يقوم الكاليكريين بدوره بتحويل البروتين غير النشط *البلازمينوجين* إل ى البلازمين، وهو إنزيم يذيب الفيبرين ويحلل الجلطة. كما يقوم الثروم بين بتنشيط البلازمين، ويعزز البلازمين بشكل غير مباشر تكوين المز يد من الكاليكريين، مما يُكمل حلقة تغذية راجعة إيجابية.

18.5e الوقاية من التجلط غير المناسب

تتطلب السيطرة الدقيقة لمنع التجلط عندما لا يكون مطلوبًا. وتشمل هذه ما يلى:

- رفض الصفائح الدموية. كما ذُكر سابقًا، لا تلتصق الصفائح الدم وية بالبطانة الملساء المغطاة بالبروستاسايكلين فى الأوعية الد موية السليمة.
- التخفيف. تتكون كميات صغيرة من الثرومبين تلقائيًا فى البلازم ا، ولكن عند معدلات تدفق الدم الطبيعية، يتم تخفيف الثروم بين بسرعة بحيث لا تتاح فرصة لتكوين جلطة. ومع ذلك، إذا ا نخفض التدفق، يمكن أن يتراكم ما يكفى من الثرومبين للتس بب فى التجلط. يمكن أن يحدث هذا فى حالة الصدمة الدموية ، على سبيل المثال. عندما يقل ناتج القلب ويتباطأ الدوران ، قد يحدث تجلط واسع النطاق فى جميع أنحاء الجهاز الدورى.
- مضادات التجلط. يتم كبح تكوين الثرومبين بواسطة مضادات التجلط فى البلازما. مضاد الثرومبين، الذى يفرزه الكبد، يعطل الثرومبين قبل أن يتمكن من التأثير على الفيبرينوجين. الهيبارين، الذى تفرزه الخلايا القاعدية وخلايا البدينة، يتداخل مع تكوين منشط البروثرومبين، ويمنع تأثير الثرومبين على الفيبرينوجين، ويعزز عمل مضاد الثرومبين. يُعطى الهيبارين عن طريق الحقن للمرضى الذين يعانون من ميول غير طبيعية للتج لط.

18.5f اضطرابات التجلط

فى عملية معقدة مثل التجلط، ليس من المستغرب أن تحدث مشاكل. يمكن أن تنتج نقص التجلط عن أسباب متنوعة مثل سوء التغذية، اللوكيميا، وحصى المرارة (انظر التعمق 18.5). نقص أى عامل من عوامل التخثر يمكن أن يوقف سلسلة التجلط . يحدث هذا فى مرض الهيموفيليا، وهو مجموعة من الأمراض الورا ثية التى تتميز بنقص عامل أو أكثر. بسبب آلية الوراثة المرتبطة بالجن س والمتنحية، يحدث الهيموفيليا بشكل رئيسى عند الذكور. يمكنهم وراثته فقط من أمهاتهم، كما حدث فى عدة حالات

البلوغ. يمكن تخفيف النزيف لبضعة أيام عن طريق نقل البلازما أو عوا مل التخثر النقية.

▶▶▶ طبق ما تعرفه

لماذا من المهم أن لا يستخدم الأشخاص المصابون بالهيموفيليا الأسبرين؟)تلميح: انظر الشكل 17.24، ولا تقل إن الأسبرين "يُرقّق الدم"، فهى عبارة مجازية غير صحيحة حرفيًا.(

فشل الدم فى التجلط يودى بحياة عدد أقل بكثير، مع ذلك، من ا لتجلط غير المرغوب فيه. التخثر هو التجلط غير الطبيعى للدم داخل وعاء دموى سليم، ويصبح مشكلة متزايدة مع التقدم فى العمر. حوالى 25% من الأشخاص فوق سن 50 يعانون من انسداد وريدى بسبب ا لتخثر، خاصة الأشخاص الذين لا يمارسون التمارين بانتظام أو الذين يُحتجزون فى السرير أو على كرسى متحرك. يتجلط الدم بسهولة أكبر فى الأوردة، حيث يكون تدفق الدم أبطأ. قد ينمو الجلطة)الجلطة الد موية(لتسد وعاءً دمويًا صغيرًا، أو قد ينفصل جزء منها ويبدأ فى التنق ل فى مجرى الدم كـ الصمة.[28] يمكن للصمة أن تستقر فى شريان صغير وتمنع تدفق الدم من تلك النقطة فصاعدًا. إذا كان ذلك الوعاء يزود نسيجًا حيويًا فى القلب أو الدماغ أو الرئة أو الكلى، قد يحدث *اح تشاء*)موت النسيج(. فى الولايات المتحدة، يموت حوالى 650,000 شخص سنويًا بسبب *الانصمام الخثارى*)الجلطات الدموية المتنقلة(فى الشرايين الدماغية والتاجية والرئوية. معظم السكتات الدماغية وا لنوبات القلبية تعود إلى التخثر، وغالبًا ما يؤدى الانصمام الخثارى إلى فشل رئوى.

التخثر أكثر احتمالًا أن يحدث فى الأوردة منه فى الشرايين \الأن ا لدم يتدفق أبطأ فى الأوردة ولا يخفف الثرومبين والفبرين بسرعة. مع ظم الدم الوريدى يتدفق مباشرة إلى القلب ثم إلى الرئتين. لذلك، فإن الجلطات الدموية التى تنشأ فى الأطراف غالبًا ما تستقر فى الرئتين و تسبب *الانصمام الرئوى*. عندما لا يستطيع الدم الدوران بحرية عبر الر ئتين، لا يمكنه استقبال الأكسجين وقد يموت الشخص من نقص الأ كسجة.

الجدول 18.8 يصف بعض الاضطرابات الإضافية للدم. تأثيرات الشيخوخة على الدم موصوفة فى الفصل 29.

[28] em = فى، داخل؛ bolus = كرة، كتلة



نظرة أعمق 18.5

التطبيق السريرى

مرض الكبد وتخثر الدم

يعتمد تخثر الدم السليم على وظيفة الكبد الطبيعية لسببين. أولاً، يقوم الكبد بتصنيع معظم عوامل التخثر. لذلك، تؤدى الأمراض مثل التهاب ا لكبد، تليف الكبد، والسرطان التى تضعف وظيفة الكبد إلى نقص فى عوامل التخ ثر. ثانيًا، يتطلب تصنيع عوامل التخثر IX ،VII ،II، وX فيتامين ك. امتصاص فيتام ين ك من الغذاء يحتاج إلى الصفراء، وهى إفراز من الكبد. يمكن أن تؤدى حصى ا لمرارة إلى نقص فى التخثر عن طريق انسداد القناة الصفراوية وبالتالى تعطيل إفرا ز الصفراء وامتصاص فيتامين ك. التخثر الفعال للدم مهم بشكل خاص أثناء الولاد ة، حيث ينزف كل من الأم والطفل بسبب صدمة الولادة. لذلك، قد يُنصح النساء ا لحوامل بتناول مكملات فيتامين ك لضمان تخثر سريع، وقد يُعطى الأطفال حدى ثو الولادة حقن فيتامين ك.

أعضاء العائلة المالكة الأوروبية الذين ينحدرون من الملكة فيكتوريا. نقص العامل الثامن يسبب*الهيموفيليا الكلاسيكية)الهيموفيليا أ(*، والتى تمثل حوالى 83% من الحالات وتؤثر على 1 من كل 5000 ذكر فى جميع أنحاء العالم. نقص العامل التاسع يسبب*الهيموفيليا ب*، والتى تمثل 15% من الحالات وتحدث فى حوالى 1 من كل 30000 ذكر. لذلك يُعرف العاملان الثامن والتاسع باسم*العوامل المضادة للهيموفيليا أ*و*ب*. شكل أندر يسمى*الهيموفيليا ح*)نقص العامل الحادى عشر(هو وراثى جسدى وليس مرتبطًا بالجنس، لذا يحدث بالتساوى فى كلا الجنسين. قبل توفر العامل الثامن النقى فى الستينيات، كان أكثر من نصف ا لمصابين بالهيموفيليا يموتون قبل سن الخامسة، وكان 10% فقط يعي شون حتى سن 21. الجهد البدنى يسبب نزيفًا فى العضلات والمفاصل. الألم الشديد وفقدان حركة المفاصل فى النهاية يمكن أن يحدث نتيجة للتجمعات الدموية داخل العضلات والمفاصل **hematomas**[27]كتل من ا لدم المتخثر فى الأنسجة(. ومع ذلك، تختلف شدة الهيموفيليا. نصف ال مستوى الطبيعى من عوامل التخثر يكفى لمنع الأعراض، والأعراض تكو ن خفيفة حتى فى الأفراد الذين لديهم 30% فقط من الكمية الطبيعية. قد تمر مثل هذه الحالات دون اكتشاف حتى فى

[27] hemato = دم؛ oma = كتلة

الجدول 18.8	بعض اضطرابات الدم
التخثر المنتشر داخل الأوعية الد موية)DIC(	تجلط واسع النطاق داخل الأوعية السليمة، يقتصر على عضو واحد أو يحدث فى جميع أنحاء الجسم. عادة ما يُثار بواسطة تعفن الدم ولكنه يحدث أيضًا عندما يتباطأ دوران الدم بشكل ملحوظ)كما فى توقف القلب(. يتميز بنزيف واسع النطاق، واحتقان الأوع ية بالدم المتجلط، ونخر الأنسجة فى الأعضاء المحرومة من الدم.
التهاب اللورتين المعدى)الوحيدى(	عدوى الخلايا اللمفاوية البائية بفيروس إبشتاين-بار، شائعة بشكل خاص بين المراهقين والشباب. عادة ما تنتقل عن طريق ت بادل اللعاب، كما فى التقبيل. تسبب الحمى، التعب، التهاب الحلق، تضخم الغدد اللمفاوية، وزيادة عدد كريات الدم البيضاء. ع ادةً ما تكون محدودة ذاتياً وتزول خلال بضعة أسابيع.
تعفن الدم	بكتيريا الدم)وجود البكتيريا فى مجرى الدم(المصاحبة لعدوى فى مكان آخر من الجسم. غالبًا ما تسبب الحمى، القشعريرة، والغثيان، و قد تؤدى إلى اضطراب تخثر الدم المنتشر)DIC(أو الصدمة الإنتانية.
الثلاسيميا	مجموعة من فقرات الدم الوراثية الأكثر شيوعًا بين اليونانيين، الإيطاليين، وغيرهم من أصول البحر الأبيض المتوسط؛ تظهر نقصًا أو غيابًا فى الهيموغلوبين ألفا أو بيتا وعدد كريات الدم الحمراء قد يكون أقل من 2 مليون/ميكرولتر.
قلة الصفيحات الدموية	عدد الصفيحات الدموية أقل من 100,000/مل. الأسباب تشمل تدمير نخاع العظم بواسطة الإشعاع، الأدوية، السموم، أو اللو كيميا. العلامات تشمل بقع نزفية صغيرة فى الجلد أو ورم دموى استجابةً لصدمات طفيفة.
يمكنك العثور على اضطرابات دموية أخرى موصوفة فى الأماكن التالية:	
نقص البروتين فى الدم فى نظرة أعمق 18.1؛ فقر الدم، كثرة الحمر، نقص الأكسجة، و مرض الخلايا المنجلية فى القسم 18.2e؛ تفاعلات نقل الدم و مرض انحلال الدم عند حديثى الولادة فى الأقسام 18.3b و 18.3d؛ اللوكيميا، زيادة كريات الدم البيضاء، و نقص كريات الدم البيضاء فى القسم 18.4d؛ و الورم الدموى، الهيموفيليا، التخثر، و الانصمام الخثارى فى القسم 18.5f.	

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

22. ما هى الآليات الأساسية الثلاثة لوقف النزيف؟
23. كيف تختلف الآليات الخارجية والداخلية للتخثر؟ وما القاسم المشترك بينهما؟
24. من أى ناحية يمثل تخثر الدم حلقة تغذية راجعة سلبية؟ وأى جزء منه يشكل حلقة تغذية راجعة إيجابية؟
25. وصف بعض الآليات التى تمنع التخثر فى الأوعية غير التالفة.
26. وصف مصدر شائع وتأثير الانصمام الرئوى.



نظرة أعمق 18.6

التطبيق السريرى

الإدارة السريرية لتجلط الدم

بالنسبة للعديد من مرضى القلب والأوعية الدموية، الهدف من العلاج هو منع تكوين الجلطات أو إذابة الجلطات التى تكونت بالفعل. تستخدم عدة استراتيجيات أملاح غير عضوية ومنتجات من البكتيريا والنباتات والحيوانات ذات تأثيرات مضادة للتخثر ومذيبة للجلطات.

منع تكوين الجلطات

نظرًا لأن الكالسيوم هو عنصر أساسى لتجلط الدم، يمكن منع تجلط عينات الدم بإضافة بعض بلورات أوكسالات الصوديوم، سترات الصوديوم، أو EDTA[29] — وهى أملاح ترتبط بأيونات الكالسيوم وتمنع مشاركتها فى تفاعلات التخثر. كما يمكن تغليف معدات جمع الدم مثل أنابيب الهيماتوكريت بالهيبارين، وهو مضاد تخثر طبيعى تم شرح آليته سابقًا.

نظرًا لأن فيتامين ك مطلوب لتكوين عوامل التخثر، فإن أى شىء يعارض استخدام فيتامين ك يجعل الدم يتجلط بشكل أقل سهولة.
أحد مضادات فيتامين ك هو الكومارين[30] (كو-ما-رين)، وهو مستخلص ذو رائحة عطرة من حبوب التونكا، البرسيم الحلو، ونباتات أخرى، يُستخدم فى العطور. يُؤخذ الكومارين عن طريق الفم للمرضى المعرضين لخطر الإصابة بالجلطات، ويستغرق مفعوله حتى يومين، لكنه يدوم لفترة أطول من الهيبارين. ومضاد فيتامين ك مشابه هو المستحضر الدوائى الوارفارين[31] (كومادين)، الذى تم تطويره فى الأصل كمبيد حشرى—يجعل الفئران تنزف حتى الموت.
من الواضح أن مثل هذه مضادات التخثر يجب استخدامها بحذر شديد لدى البشر.
تتغذى العديد من الطفيليات على دم الفقاريات وتفرز مضادات تخثر للحفاظ على تدفق الدم. من بين هذه الطفيليات الديدان المائية المعروفة باسم العلق. يفرز العلق مخدرًا موضعيًا يجعل لدغاته غير مؤلمة؛ لذلك، استخدمه الأطباء منذ عام 1567 قبل الميلاد فى حجامة الدم. كانت هذه الطريقة أقل ألمًا ومقززة لمرضاهم من *phlebotomy*[32]—قطع الوريد—وبالفعل، أصبح استخدام العلق شائعًا جدًا. فى فرنسا فى القرن السابع عشر، كان ذلك شائعًا للغاية؛ حيث استُخدم عدد هائل من العلق فى محاولات غير مستنيرة لعلاج الصداع، والأرق، والسعال الديكى، والسمنة، والأورام، وتشنجات الحيض، والمرض العقلى، وكل ما تخيله الأطباء أو مرضاهم أنه ناتج عن "الدم الفاسد".

تم اكتشاف أول مضاد تخثر معروف فى لعاب العلق الطبى، *Hirudo medicinalis*, فى عام 1884. وسُمى *hirudin*, وهو بولى ببتيد يمنع التخثر عن طريق تثبيط الثرومبين. يجعل الدم يتدفق بحرية أثناء تغذية العلق ولمدة تصل إلى ساعة بعدها.

بينما تم دحض نظرية الدم الفاسد منذ زمن طويل، عاد استخدام العلق مؤخرًا فى المجال الطبى لأسباب أخرى (الشكل 18.24). تكمن المشكلة الرئيسية فى إعادة توصيل جزء مقطوع من الجسم مثل الإصبع أو الأذن فى أن الأوردة الدقيقة التى تصرف الدم من هذه الأعضاء صغيرة جدًا لإعادة توصيلها جراحيًا. نظرًا لأن الدم الشريانى يتدفق إلى العضو المعاد توصيله ولا يمكن أن يتدفق خارجًا بسهولة، فإنه يتجمع ويتخثر هناك. هذا يمنع نمو الأوردة وتدفق الدم النقى عبر العضو، وغالبًا ما يؤدى إلى النخر. بعض جراحى الأوعية الدموية



الشكل 18.24 استخدام حديث للعلقات الطبية. يتم استخدام علقتين طبيتين لإزالة الدم المتخثر من ورم دموى بعد الجراحة. على الرغم من حجمها الكبير، تفرز العلقات مخدرًا طبيعيًا وتنتج لدغة غير مؤلمة.

كيف تختلف النظرية الحديثة وراء استخدام العلقات عن النظرية التى كانت شائعة قبل عدة قرون؟

SPL/Science Source

يقومون الآن بوضع العلق على الجزء المعاد توصيله. مضاد التخثر الذى يفرزه العلق يحافظ على تدفق الدم بحرية ويسمح بنمو أوردة جديدة. بعد 5 إلى 7 أيام، يتم استعادة تصريف الأوردة ويمكن إيقاف استخدام العلق.

إذابة الجلطات التى تكونت بالفعل

عندما تتكون جلطة بالفعل، يمكن علاجها بأدوية مذابة للجلطات مثل *streptokinase*, وهو إنزيم تنتجه بعض البكتيريا (العقديات). يُستخدم الستربتوكيناز الوريدى لإذابة جلطات الدم فى الأوعية التاجية، على سبيل المثال. ومع ذلك، فهو غير محدد ويهضم تقريبًا أى بروتين. منشط البلازمينوجين النسيجى (TPA) يعمل بشكل أسرع وأكثر تحديدًا، ويتم تصنيعه الآن بواسطة بكتيريا معدلة وراثيًا. يحول TPA البلازمينوجين إلى إنزيم مذيب للجلطات يُسمى البلازمين. بعض مضادات التخثر ذات الأصل الحيوانى تعمل أيضًا عن طريق إذابة الفيبرين. ينتج العلق العملاق فى الأمازون، *Haementeria,* أحد هذه المضادات التخثرية المسماة hementin. وقد تم إنتاج هذا أيضًا بنجاح بواسطة بكتيريا مهندسة وراثيًا واستخدم فى مرضى القلب لإذابة جلطات الدم التى لا تستجيب للستربتوكيناز أو الأدوية الأخرى.

[29] حمض الإيثيلين ديامين تترا اسيتيك
[30] *كومارو* = شجرة حبوب التونكا
[31] اختصار من مؤسسة أبحاث خريجى ويسكونسن
[32] *phlebo* = وريد؛ *tomy* = قطع

دليل الدراسة

قيّم نتائج تعلمك

لاختبار معرفتك، ناقش المواضيع التالية مع شر يك دراسة أو كتابة، ويفضل من الذاكرة.

18.1 الجوانب العامة للدم

1. مكونات الجهاز الدورى؛ الفرق بين مصطلح ى الجهاز الدورى والجهاز القلبى الوعائى
2. الوظائف المتنوعة للدم؛ مساهمات الدم ف ى التوازن الداخلى
3. المكونان الرئيسيان للدم الكامل؛ الكميات ال نسبية للبلازما والعناصر المُشكّلة فى الدم؛ وا لفئات الثلاث الرئيسية للعناصر المُشكّلة
4. تركيب بلازما الدم والمصل
5. أهمية لزوجة الدم وتركيزه الأسموزى، وما يف سر كل منهما، والتأثيرات المرضية للزوجة أ و التركيز الأسموزى غير الطبيعى
6. تعريف *الضغط الاسموزى الغروانى*
7. الجوانب العامة لتكوين الدم؛ أين يحدث فى ا لجنين، فى الجنين النامى، وبعد الولادة؛ والخ لية الجذعية التى تبدأ بها جميع مسارات تكو ين الدم

18.2 كريات الدم الحمراء

1. تركيب ووظيفة كريات الدم الحمراء)RBC(
2. وظائف الهيموغلوبين وإنزيم الكربونيك أنهيد راز
3. تركيب الهيموغلوبين والأجزاء التى ترتبط بالأكسجين 2O وثان ى أكسيد الكربون 2CO
4. ثلاث طرق لقياس كريات الدم الحمراء وم ستوى الهيموغلوبين فى الدم؛ التعريف ووح دات القياس لكل منها؛ وأسباب الفروق بين ا لقيم لدى الذكور والإناث
5. مراحل تكوين كريات الدم الحمراء والتحولات الرئيسية فى كل مرحلة
6. لماذا الحديد ضرورى؛ كيف يحول المعدة الحد يد الغذائى إلى شكل قابل للاستخدام؛ وأدوار الجاستروفيريتين، الترانسفيرين، والفيريتين فى أيض الحديد
7. التنظيم التوازنى لتكوين كريات الدم الحمراء ، بما فى ذلك أصول ودور الإريثروبويتين)EPO( )
8. عمر كريات الدم الحمراء وكيف يتخلص الجسم من كر يات الدم الحمراء القديمة
9. كيف يتخلص الجسم من الهيموغلوبين فى كر يات الدم الحمراء المنتهية الصلاحية وكيف ير تبط ذلك بأصباغ الصفراء والبراز والبول
10. الزيادات والنقص فى عدد كريات الدم الح مراء وأشكالها وأسبابها والنتائج المرضية لكل منها
11. أسباب وتأثيرات نقص الهيموغلوبين ومرض الخلايا المنجلية والثلاسيميا من الناحية المر ضية

18.3 فصائل الدم

1. ما الذى يحدد فصيلة دم الشخص؛ فصائ ل دم مجموعة ABO وكيف تختلف فى الجينا ت ومستضدات كريات الدم الحمراء
2. لماذا لا يمتلك الفرد أجسامًا مضادة فى ال بلازما ضد أنواع ABO عند الولادة، ولكنه يط ورها خلال فترة الرضاعة؛ وكيف تحد هذه الأج سام المضادة من توافق نقل الدم
3. سبب وآلية حدوث تفاعل نقل الدم ولماذا يم كن أن يؤدى إلى فشل كلوى ووفاة؛ معانى ال تكتل)agglutination(والتحلل الدموى (hemolysis)
4. فصائل الدم لمجموعة Rh وكيف تختلف فى جيناتها ومستضدات خلايا الدم الحمراء
5. ما الذى يمكن أن يسبب تطور أجسام مضادة ضد خلايا الدم الحمر اء الإيجابية لمستضد Rh لدى الشخص
6. مجموعات الدم غير ABO وRh، وفائدتها لأغر اض معينة
7. مرض التحلل الدموى لحديثى الولادة؛ لماذا نا درًا ما يحدث فى الطفل الأول المعرض للخ طر لدى المرأة، ولكنه أكثر شيوعًا فى حالات الحمل اللاحقة؛ وكيف يتم علاجه والوقا ية منه

18.4 الكريات البيضاء

1. الوظيفة العامة لجميع الكريات البيضاء (WBCs)
2. ثلاثة أنواع من الحبيبات، ونوعان من غير الح بيبات، وما يميز الحبيبات عن غير الحبيبات كفئة
3. المظهر، الحجم النسبى والعدد، ووظائف كل نوع من أنواع الكريات البيضاء، والظروف ا لتى يزداد فيها كل نوع فى تعداد الكريات البي ضاء التفريقى
4. ثلاثة خطوط خلوية رئيسية، المراحل، والموا قع التشريحية لتكوين الكريات البيضاء
5. المدة النسبية التى تقضيها كريات الدم البيضاء فى مجرى الدم وتقضيها فى الأنسجة الأخر ى؛ أى نوع يعيد الدوران إلى الدم وأى الأنواع لا تعيد؛ والأعمار النسبية لكريات الدم البيضاء
6. أسباب وتأثيرات نقص كريات الدم البي ضاء وزيادتها
7. تسمية وتصنيف أنواع مختلفة من اللوكيم يا؛ لماذا عادةً ما تصاحب اللوكيميا نقص فى كريات الدم الحمراء والصفائح الدموية وز يادة خطر العدوى الانتهازية

18.5 الصفائح الدموية والسيطرة على النزيف

1. تركيب ووظائف الصفائح الدموية، عدد ال صفائح الدموية النموذجى، ولماذا لا تُعتبر الص فائح الدموية خلايا
2. مواقع وعملية إنتاج الصفائح الدموية، والهرمو ن الذى يحفزها
3. ثلاث آليات للتخثر وسرعتها وفعاليتها النس بية
4. الهدف العام من التخثر؛ المنتج النهائى لت فاعلات التخثر، والاختلافات الأساسية بين الآليات الخارجية والداخلية
5. أساسيات الآلية الخارجية بما فى ذلك الماد ة الكيميائية التى تبدأها، والعوامل المساعدة الأخرى المشاركة، والنقطة التى تلتقى فى ها مع الآلية الداخلية عند وسيط مشترك
6. أساسيات الآلية الداخلية بما فى ذلك المادة ا لكيميائية التى تبدأها، والعوامل المساعدة الأخر ى المشاركة، والنقطة المذكورة سابقًا للالتقاء مع الآلية الخارجية
7. خطوات المسار المشترك للتخثر من العامل العا شر إلى الفيبرين، بما فى ذلك العوامل المس بية للتخثر المشاركة
8. أدوار التغذية الراجعة الإيجابية وتضخيم الإنز يمات فى التخثر
9. عمليات انكماش الجلطة، إصلاح الأوعية ، والتحلل الفيبرينى
10. ثلاث آليات لمنع التخثر غير المناسب فى الأوع ية غير التالفة
11. أسباب نقص التخثر بما فى ذلك الأنواع، الورا ثة، ومرض الهيموفيليا
12. مصطلحات التخثر غير المرغوب أو غير المنا سب فى الوعاء، الجلطة نفسها، والجلطة التى تنفصل وتنتقل فى مجرى الدم
13. لماذا يحدث التخثر التلقائى فى الأوردة أكثر من الشرايين؛ الخطر الناتج عن الجلطات المتنق لة؛ ولماذا غالبًا ما تستقر الجلطات المتنقلة فى الرئتين حتى لو نشأت من أطراف الج سم السفلية

دراسة دليل

اختبار استرجاعك

الإجابات فى الملحق أ

1. تنتمى الأجسام المضادة إلى فئة من بروتينات البلازما تُسمى
أ. الألبومينات.
ب. جاما جلوبولينات.
ج. ألفا جلوبولينات.
د. عوامل التخثر.
الأجسام المجمعة (الأجلوتينات).

2. المصل هو بلازما الدم بدون
أ. أيونات الصوديوم.
ب. أيونات الكالسيوم.
ج. بروتينات التخثر.
د. الجلوبيولينات.
هـ. الألبومين.

3. أى من الحالات التالية من المرجح أن تسبب فقر الدم الانحلالى؟
أ. نقص حمض الفوليك
ب. نقص الحديد
ج. تسمم الفطر
د. إدمان الكحول
هـ. نقص تكاسح الدم

4. من المستحيل لطفل من فصيلة دم O+ أن يكون لديه الأم. فصيلة دم ______
أ. AB−
ب. O−
ج. O+
د. A+
هـ. B+

5. أى مما يلى *ليس* مكونًا من مكونات التجلط؟
أ. تكوين سدادة الصفائح الدموية
ب. التكتل
ج. انكماش الجلطة
د. تشنج الأوعية الدموية
هـ. إزالة الحبيبات

6. أى مما يلى يساهم أكثر فى لزوجة الدم؟
أ. الألبومين
ب. الصوديوم
ج. الجلوبيولينات
د. كريات الدم الحمراء
هـ. الفيبرين

7. أى من هذه هو كريات محببة؟
أ. خلية وحيدة النواة
ب. خلية لمفاوية
ج. بلعمة
د. حمضية (يوزينوفيل)
هـ. كريات الدم الحمراء

8. يُخزن الحديد الزائد فى الكبد على شكل مركب يسمى
أ. جاستروفيريتين.
ب. ترانسفيرين.
ج. فيريتين.
د. هيباتوفيريتين.
هـ. إريثروبويتين.

9. فقر الدم الخبيث هو نتيجة
أ. نقص الأكسجين فى الدم
ب. نقص الحديد.
ج. الملاريا.
د. نقص العامل الداخلى.
هـ. عدم توافق فصيلة الدم Rh.

10. أول عامل تخثر تشترك فيه المسارات الداخلية والخارجية هو
أ. ثرومبوبلاستين.
ب. عامل هاجيمان.
ج. العامل العاشر.
د. منشط البروثرومبين.
هـ. العامل الثامن.

11. إنتاج جميع العناصر المتكونة فى الدم يُسمى ______.

12. النسبة المئوية لحجم الدم المكونة من كريات الدم الحمراء تُسمى ______.

13. يتم تنشيط المسار الخارجى لتخثر الدم بواسطة ______ من الأنسجة التالفة الأنسجة المحيطة بالأوعية الدموية.

14. مستضدات كريات الدم الحمراء التى تحدد توافقية نقل الدم تُسمى ______.

15. النقص الوراثى فى العامل الثامن يسبب مر ضًا يسمى ______.

16. التوقف الكامل للنزيف، الذى يشمل عدة آليا ت، يسمى ______.

17. ينتج عن طفرة تغير حمضًا أمينيًا واحدًا ______ فى جزىء الهيموغلوبين.

18. عدد كريات الدم الحمراء المرتفع بشكل مفرط يسمى. ______

19. العامل الداخلى يمكّن الأمعاء الدقيقة من ام تصاص ______.

20. يحفز ______ هرمون الكلى إنتاج خلايا الدم الحمراء.

بناء مفرداتك الطبية

الإجابات فى الملحق أ

اذكر معنى كل عنصر من عناصر الكلمة، وقدم مصطلحًا طبيًا من هذا الفصل يستخدمه أو تعديلًا طفيفًا له.

1. an-
2. -blast
3. erythro-
4. glutino-
5. hemo-
6. leuko-
7. -بنيا
8. فليبو-
9. -بويسيس
10. ثرومبو-

دليل الدراسة

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

الإجابات فى الملحق أ

اشرح بإيجاز لماذا كل من العبارات التالية خاطئة، أ و أعد صياغتها لتصبح صحيحة.

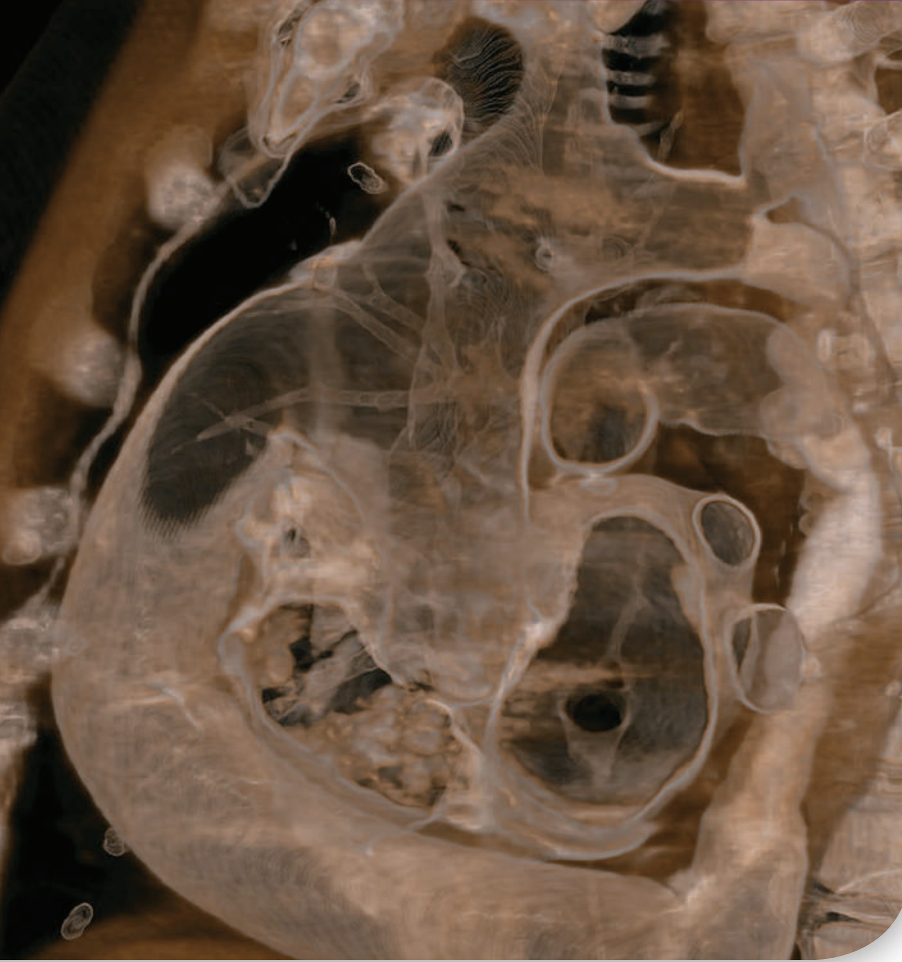
1. عادةً ما تشكل كريات الدم الحمراء معظم حجم الدم.
2. الزيادة غير الطبيعية فى تركيز الألبومين فى الدم تجعل تدفق الدم أبطأ وبالتالى تقلل ضغط الدم.
3. الأنيميا ناتجة عن انخفاض تركيز الأكسجين فـ ى الدم.
4. التوازن الدموى، والتخثر، وتكوين الجلطة ه ى ثلاثة مصطلحات لنفس العملية.
5. إذا كانت المرأة من فصيلة الدم +B أنجبت طفلاً من فصيلة الدم −O، فإن زوجها الذى فصيلة دم ه +A لا يمكن أن يكون الأب البيولوجى.
6. الخلايا اللمفاوية هى أكثر خلايا الدم البيضاء و فرة فى الدم.
7. أيونات البوتاسيوم هى عامل مساعد ضرورى فى عدة مراحل من عملية تخثر الدم.
8. جميع العناصر المشكلة فى الدم باستثناء الص فائح الدموية تنشأ فى النهاية من نفس الخلا يا الجذعية المكونة للدم.
9. عندما تموت خلايا الدم الحمراء وتتحلل، يتم إفراز جز ء الغلوبين من الهيموغلوبين ويتم إعادة تدوير اله يم لتكوين خلايا دم حمراء جديدة.
10. اللوكيميا هى نقص حاد فى خلايا الدم البى ضاء.

اختبار فهمك

1. لماذا لا يمكن لتكوين كريات الدم الحمراء تصح يح نقص الأكسجة الناتج عن سرطان الرئة؟
2. غالبًا ما يكون لدى الأشخاص المصابين بمرض ال كلى المزمن نسبة الهيماتوكريت أقل من نصف الق يمة الطبيعية. اشرح السبب.
3. امرأة مسنة بيضاء تصدمها حافلة وتصاب بجروح خطيرة. تم إبلاغ محقق الحوادث \أبأنها تعيش فى مستودع مهجور، حيث توجد بع ض متعلقاتها الشخصية القليلة تشمل عدة زجاجات نبيذ فارغة ورخصة قياد ة منتهية الصلاحية تشير إلى أنها تبلغ من ا لعمر 72 عامًا. فى المستشفى، وُجد أنها تعا نى من فقر دم حاد. اذكر جميع العوامل التى يمكنك التفكير بها والتى قد تسهم فى فقر دمها.
4. كيف يختلف التجلط عن التكتل؟
5. على الرغم من أن الفيبرينوجين والبروثرو مبين ضروريان بنفس القدر لتجلط الدم، فإن الفيبرينوجين يشكل حوالى 4% م ن بروتين البلازما بينما البروثرومبين موجود فـ قط بكميات ضئيلة. فى ضوء أدوار هذه العوام ل المجلطة ومعرفتك بالإنزيمات، اشرح هذا الاختلاف فى الو فرة.

CHAPTER 19

THE
الجهاز الدورى: القلب



مسح مقطعى ثلاثى الأبعاد للقلب؛ منظر جانبى لشخص مواجه لليسار

غونديلون/مصدر علمى

رؤى أعمق

19.1التطبيق السريرى: الذبحة الصدرية والنوبة ال قلبية

19.2التطبيق السريرى: اضطرابات نظم القلب

19.3التطبيق السريرى: قصور الصمامات

19.4التطبيق السريرى: مرض الشريان ال تاجى

مخطط الفصل

19.1نظرة عامة على الجهاز القلبى الوعائى
19.1a الدورة الدموية الرئوية والجهازية
19.1b موقع القلب وحجمه وشكله
19.1c التامور

19.2التشريح الكلى للقلب
19.2a جدار القلب
19.2b الحجرات
19.2c الصمامات
19.2d تدفق الدم عبر الحجرات
19.2e الدورة التاجية

19.3عضلة القلب وجهاز التوصيل القلب
19.3أ هيكل عضلة القلب
19.3ب أيض عضلة القلب
19.3ح نظام التوصيل

19.4النشاط الكهربائى والانقباضى للقلب
19.4أ إيقاع القلب
19.4ب فسيولوجيا منظم ضربات القلب
19.4ح توصيل النبض إلى عضلة القلب
19.4د السلوك الكهربائى لعضلة القلب
19.4هـ تخطيط القلب الكهربائى

19.5دفق الدم، أصوات القلب، و دورة القلب
19.5أ مبادئ الضغط والتدفق
19.5ب أصوات القلب
19.5ح مراحل دورة القلب
19.5د نظرة عامة على تغيرات الحجم

19.6تنظيم النتاج القلبى
19.6أ التعصيب الذاتى للقلب
19.6ب النتاج القلبى
19.6ح معدل ضربات القلب والعوامل الزمنية
19.6د حجم الضربة والعوامل الانقباضية
19.6هـ التمرين والنتاج القلبى

دليل الدراسة



الوحدة 9: الجهاز القلبى الوعائى

19.1 نظرة عامة على الجهاز القلبي الوعائي

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. تعريف والتمييز بين الدورة الرئوية و الدورة الجهازية؛

ب. وصف الموقع العام، والحجم، والشكل للقلب؛ و

ح. وصف التامور الذي يحيط بالقلب.

يتكون الجهاز القلبي الوعائي من القلب والأوعية الدموية. القلب هو مضخة عضلية تحافظ على تدفق الدم عبر الأوعية. الشرايين هي جميع الأوعية التي تحمل الدم بعيدًا عن القلب؛ الأوردة هي جميع الأوعية التي تعيده نحو القلب؛ و الشعيرات الدموية هي أوعية مجهرية تربط أصغر الشرايين بأصغر الأوردة. المصطلح الأوسع الجهاز الدوري يشمل أيضًا الدم، ويستخدمه بعض الخبراء ليشمل الجهاز اللمفاوي أيضًا)الموضح في الفصل 21(.

19.1أ الدورتان الرئوية والجسمية

للنظام القلبي الوعائي قسمان رئيسيان: الدورة الرئوية التي تنقل الدم إلى الرئتين لتبادل الغازات وتعيده إلى القلب، و الدورة الجهازية التي تزود الدم لكل عضو من أعضاء الجسم، بما في ذلك أجزاء أخرى من الرئتين وجدار القلب نفسه)الشكل 19.1(.

النصف الأيمن من القلب يزود الدورة الرئوية. يستقبل الدم الذي جرى في الجسم، حيث فقد الأكسجين والمغذيات، وحمل حمولة من ثاني أكسيد الكربون وغيرها من الفضلات. يضخ هذا الدم الفقير بالأكسجين)غير المؤكسج(إلى شريان كبير، وهو الجذع الرئوي الذي ينقسم فورًا إلى الشريانين الرئويين الأيمن والأيسر. تنقل هذه الشرايين الدم إلى الحويصلات الهوائية)الحويصلات(في الرئتين، حيث يتم تفريغ ثاني أكسيد الكربون واستقبال الأكسجين. ثم يتدفق الدم الغني بالأكسجين)المؤكسج(عبر الأوردة الرئوية إلى الجانب الأيسر من القلب.

الجانب الأيسر يزود الدورة الجهازية. يغادر الدم منه عبر شريان كبير آخر، وهو الشريان الأورطي. ينحني الشريان الأورطي مثل حرف U مقلوب، وهو قوس الأورطي ويمر نزولًا خلف القلب. يفرز القوس شرايين تزود الرأس والرقبة والأطراف العلوية. ثم يمر الشريان الأورطي عبر التجويفين الصدري والبطني ويصدر شرايين أصغر للأعضاء الأخرى قبل أن يتفرع إلى الأطراف السفلية. بعد الدوران في الجسم وتفريغ الأكسجين، يعود الدم الجهازية غير المؤكسج الآن إلى الجانب الأيمن من القلب بشكل رئيسي عبر وريدين كبيرين: الوريد الأجوف العلوي)يصرف الجزء العلوي من الجسم(و الوريد الأجوف السفلي)يصرف كل ما تحت الحجاب الحاجز(. تُسمى الشرايين والأوردة الرئيسية التي تدخل وتخرج من القلب الأوعية الكبرى)الشرايين الكبرى و الأوردة(بسبب أقطارها الكبيرة نسبيًا. سيتم تفصيل هذه المسارات الدموية في الفصل التالي.

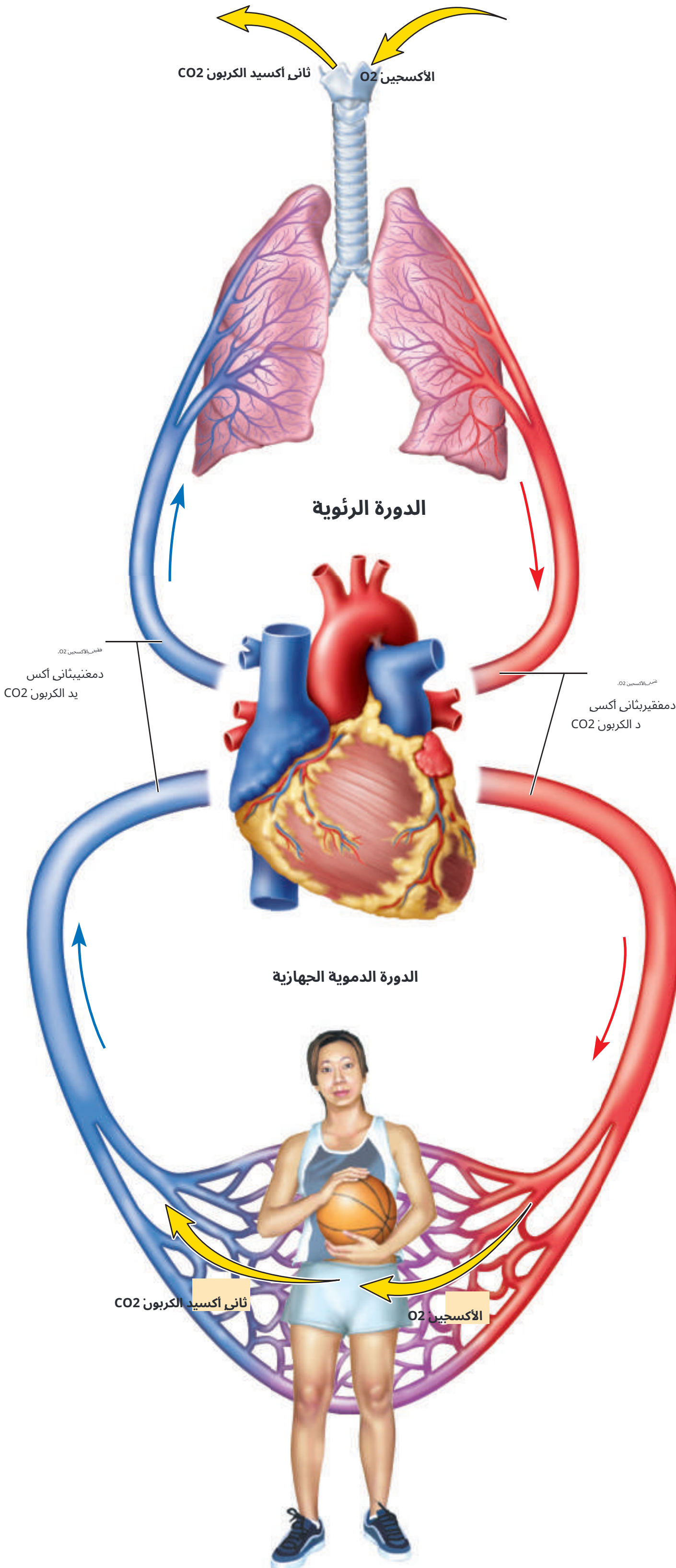
مراجعة

- للفهم الأفضل لعصلة القلب، تأكد من أنك على دراية بالوصيلات الخلوية)desmosomes(والوصلات الفجوية)gap junctions( )انظر القسم 5.5أ(وبتركيب خلايا العضلات المخططة)انظر القسم 11.2، الذي يصف ألياف العضلات الهيكلية ولكنه ينطبق أيضًا على عصلة القلب(.
- يجب أن تكون على دراية بجهود الراحة الغشائية وجهود الفعل)انظر الأقسام 12.4ب–12.4ح(لفهم فسيولوجيا منظم ضربات القلب وإثارة عصلة القلب.
- راجع اقتران الإثارة-الانقباض في العضلات الهيكلية)انظر الشكل 11.9 والنص المرتبط(للمقارنة مع العملية في عضلة القلب.
- علاقة الطول-التوتر في العضلات المخططة)انظر الشكل 11.12 والنص المرتبط(تساعد في تفسير التغير في ضخ الدم بواسطة القلب.
- تعديل النتاج القلبي في حالات الراحة والجهد البدني يعتمد على فهم تشريح وعمل الجهاز العصبي الودي واللاودي)انظر القسم 15.3أ(.

نحن أكثر وعيًا بقلبنا مقارنة بمعظم الأعضاء، وأكثر حذرًا من فشله. التأمل في القلب قديم قدم التاريخ المكتوب. بعض العلماء القدماء من الصين ومصر واليونان وروما استنتجوا بشكل صحيح أن القلب هو مضخة لملء الأوعية الدموية بالدم. ومع ذلك، كانت آراء أرسطو خطوة إلى الوراء. ربما لأن القلب يسرع نبضه عندما نثار عاطفيًا، ولأن الحزن يسبب "ألم القلب"، اعتبره أساسًا مركز العاطفة، وكذلك مصدرًا للحرارة لمساعدة الهضم.

خلال العصور الوسطى، تمسكت المدارس الطبية الغربية بعناد بأفكار أرسطو. ربما كان التقدم الوحيد المهم هو ما جاء من الطب العربي، عندما وصف الطبيب ابن النفيس في القرن الثالث عشر دور الأوعية الدموية التاجية في تغذية القلب. ومع ذلك، فإن التشريحات والرسوم التشريحية التي قام بها فيزاليوس في القرن السادس عشر حسّنت بشكل كبير المعرفة بتشريح القلب والأوعية الدموية ومهدت الطريق لدراسة أكثر علمية للقلب وعلاج اضطراباته — العلم الذي نطلق عليه الآن علم القلب.[1]

في العقود الأولى من القرن العشرين، لم يكن يُنصح سوى بالراحة التامة لمرضى القلب. ثم تم اكتشاف أن النتروجليسرين يحسن الدورة التاجية و يخفف الألم الناتج عن الجهد البدني، وأثبت الديجيتاليس فائدته في علاج اضطرابات نظم القلب، كما استُخدمت المدرات البولية لأول مرة لتقليل ارتفاع ضغط الدم. لقد جعلت جراحة تحويل مسار الشريان التاجي؛ واستبدال الصمامات المريضة؛ وإنزيمات إذابة الجلطات؛ وزرع القلب؛ وأجهزة تنظيم ضربات القلب الاصطناعية، والصمامات، والقلوب الاصطناعية، من علم القلب أحد أكثر مجالات الطب إثارة وجدبًا للانتباه في الوقت الحاضر.



الشكل 19.1 مخطط عام للجهاز القلبى الوعائى.

هل يتم تزويد الرئتين بواسطة الدورة الدموية الرئوية، الدورة الدموية الج
هازية، أم كلاهما؟ اشرح. APR

19.1ب موقع القلب وحجمه وشكله

يقع القلب داخل حاجز سميك يسمى المنصف بين الرئتين. يمتد م
ن قاعدة عريضة فى أعلى نهايته، حيث تتصل الأوعية الكبرى، إلى
قمة مدببة قليلاً فى النهاية السفلية، فوق الحجاب الحاجز مباشرة. يم
يل القلب نحو اليسار من القاعدة إلى القمة، بحيث يقع أكثر من نص
ف القلب إلى يسار المستوى المتوسط للجسم. يمكننا رؤية ذلك بو
ضوح فى مقطع عرضى)أفقى(عبر الصدر)الشكل 19.2؛ انظر أيضًا ا
لصور فى الأطلس ب، الأشكال B.10 وB.11(.

يبلغ عرض قلب البالغين حوالى 9 سم)3.5 بوصة(عند القاعدة، و13
سم)5 بوصات(من القاعدة إلى القمة، و6 سم)2.5 بوصة(من الأمام إلى ا
لخلف عند أسمك نقطة فيه. بغض النظر عن حجم الجسم، من الطفل إلى
البالغ، يكون حجم القلب تقريبًا مساويًا لحجم القبضة. يزن حوالى 300 جرا
م)10 أونصات(لدى البالغين.

19.1ج التامور

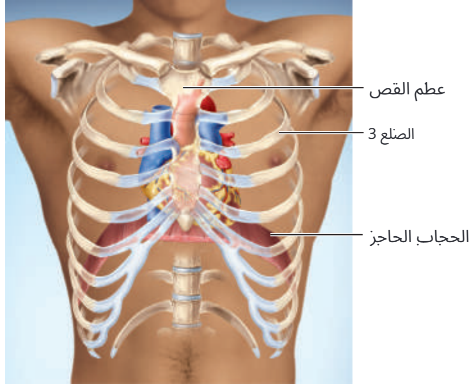
القلب محاط بكيس يُسمى التامور[3])الشكل 19.3(،
الذى يفصله عن الرئتين ويسمح للقلب بالحركة
بحرية أثناء نبضه. له طبقتان—التامور الليفى الخارجى
والتامور المصلى الداخلى.
التامور الليفى هو كيس قوى مكون من الكولاجين مفصول عن ا
لقلب، يحيط به لكنه غير ملتصق به. يرتبط بالوتر المركزى للحجاب ال
حاجز أدناه، وجذور الأوعية الدموية الكبيرة فى أعلى القلب، والسطح ا
لخلفى لعظم القص أمام القلب، والأنسجة الصامة للمنصف خلفه.

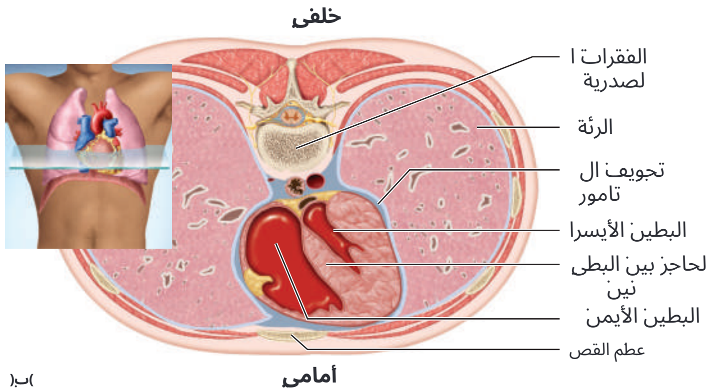
التامور المصلى هو ظهارة حرشفية بسيطة تغطى طبقة رقيقة م
ن النسيج المرن. يحتوى على أهداب غير متحركة تزيد من مساحة ال
سطح لإفراز وامتصاص سائل التامور داخل تجويف التامور. كما تقلل
من الاحتكاك أثناء نبض القلب. تغطى هذه الغشاء سطح القلب، حي
ث تُسمى الطبقة الحشوية للتامور المصلى، أو التامور القلبى)ويو
صف بمزيد من التفصيل لاحقًا(. عند جذور الأوعية الكبيرة، ينعطف ل
لخارج ويبطّن داخل التامور الليفى.

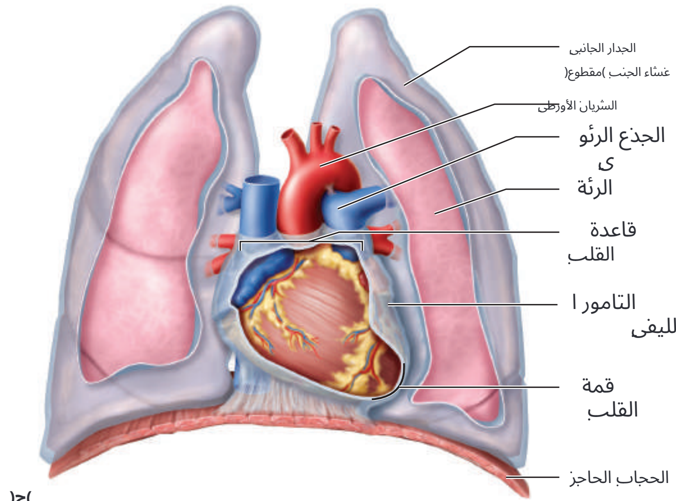
هنا، يُسمى *الطبقة الجدارية للتامور المصلى* .
المساحة بين الطبقتين الجدارية والحشوية للتامور المصلى تُسم
ى تجويف التامور)الأشكال 19.2ب، 19.3(. القلب ليس داخل تجو
يف التامور بل محاط به. غالبًا ما يُوصف علاقة القلب بالتامور بمقارنة
مع قبضة يد مدفوعة داخل بالون غير منتفخ بالكامل)الشكل 19.3ح(
. سطح البالون المتصل بالقبضة يشبه التامور القلبى؛ السطح الخارج
ى للبالون يشبه الطبقة الجدارية، والمساحة الهوائية بينهما تشبه تجو
يف التامور.

يحتوى تجويف التامور على 5 إلى 30 مل من سائل التامور، الذ
ى يفرزه التامور المصلى. يعمل السائل على تزييت الأغشية ويسمح
للقلب بالنبض بأقل احتكاك ممكن. فى التهاب التامور—التهاب التام
ور—قد تصبح الأغشية خشنة وتنتج صوت احتكاك مؤلم مع كل نب
ضة قلب. بالإضافة إلى تقليل الاحتكاك، يعزل التامور القلب عن الأع
ضاء الصدرية الأخرى ويرسخه داخل الصدر. يسمح للقلب بالتمدد، ل
كنه يقاوم التمدد المفرط)انظر الانصباب القلبى فى التعمق 1.أ فى ا
لأطلس أ(.

[3] *peri* = حول؛ *cardi* = القلب

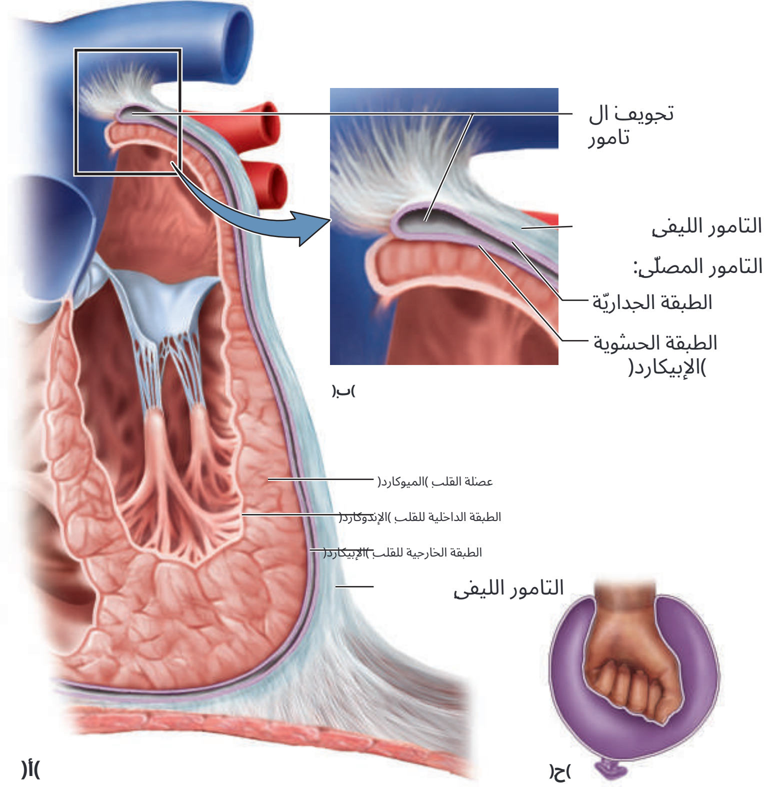






الشكل 19.2 موقع القلب فى تجويف الصدر.
)أ(العلاقة بالقفص الصدرى.)ب(مقطع عرضى للصدر على مستوى القلب.)ح(منظر أمامى مع انسحاب طفيف للرئتين وفتح التامور الليفى. APR

هل يقع معظم القلب إلى اليمين أم اليسار من المستوى الوسيط؟



الشكل 19.3 التامور وجدار القلب.)أ(مقطع أمامى للقلب يُظهر الطبقات الثلاث لجدار القلب وعلاقته بالتامور.)ب(تفاصيل التامور وتجويف التامور.)ح(قبضة يد داخل بالون توضح، بالتشبيه، كيف يلتف التامور مزدوج الجدران حول القلب.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

1. تمييز الدورتين الرئوية والجهازية وذكر أى جزء من القلب يزود كل منهما.
2. توقع تأثير التامور الليفى الذى يلتف بإحكام شديد حول القلب. توقع تأثير فشل التامور المصلّى فى إفراز سائل التامور.

التشريح الكلى للقلب 19.2

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف الطبقات الثلاث لجدار القلب؛
ب. تحديد الحجرات الأربع للقلب؛
ح. تحديد الملامح السطحية للقلب وربطها بتشريحه الداخلى ذى الأربع حجرات؛
د. تحديد الصمامات الأربع للقلب؛
هـ. تتبع تدفق الدم عبر الحجرات الأربع وصمامات القلب والأوعية الدموية المجاورة؛ و
و. وصف الشرايين التى تغذى عضلة القلب)العضلة القلبية(والأوردة التى تصرفها.

19.2أ جدار القلب

يتكون جدار القلب من ثلاث طبقات: *التامور، عضلة القلب،*
والبطانة الداخلية للقلب.

التامور[4] هو الطبقة الخارجية التى تم وصفها للتو)الطبقة الحشوية للتامور المصلى(. وهى رقيقة وشفافة فى معظم المناطق، لذا تظهر عضلة القلب الأساسية من خلالها. فى بعض الأماكن، مع ذلك، تشمل طبقة سميكة من النسيج الدهنى التى تحيط بالأوعية الدموية التاجية الرئيسية وتحميها من الضغط)الشكلان 19.4، 19.5(.

البطانة الداخلية للقلب،[5] وهى طبقة مشابهة، تبطن داخل غرف القلب)الشكلان 19.3، 19.4ب(. مثل التامور، هذه طبقة طلائية حرشفية بسيطة تغطيها طبقة رقيقة من النسيج الضام؛ ومع ذلك، لا تحتوى على نسيج دهنى. تغطى البطانة الداخلية أسطح الصمامات وتتصل باستمرار مع بطانة الأوعية الدموية.

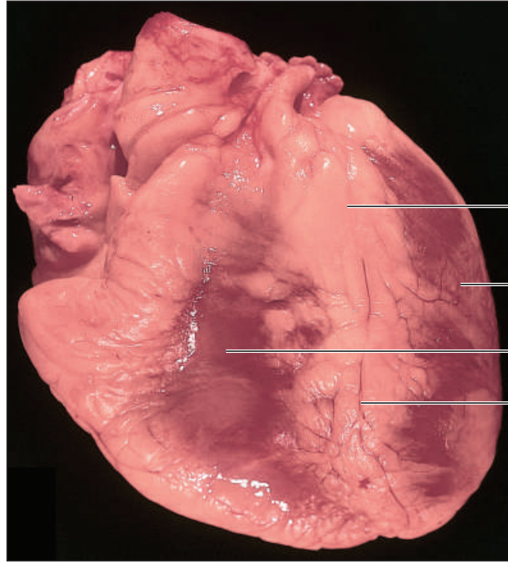
عضلة القلب[6] بين هاتين الطبقتين تتكون من عضلة القلب. هذه هى بالطبع الطبقة الأسمك وتؤدى عمل القلب. سمكها يتناسب مع حجم العمل على الغرف الفردية. عضلتها منظمة فى حزم تلتف حول القلب، مكونة دوامة القلب

)الشكل 19.6(. عند انقباض البطينين، يظهران حركة التواء أو عصر تعزز من ضخ الدم.
لاحقًا، سنفحص التركيب المجهرى لخلايا عضلة القلب، أو *خلايا عضلة القلب (cardiomyocytes)*، بشكل أدق.
للقلب إطار من ألياف الكولاجين والألياف المرنة التى تشكل الهيكل الليفى. هذا متطور بشكل خاص فى الجدران بين غرف القلب، فى *الحلقات الليفية (anuli fibrosi)* حول الصمامات، وفى صفائح نسيجية تربط هذه الحلقات)انظر الشكل 19.8(. الهيكل الليفى له وظائف متعددة

[4] epi = فوق؛ cardi = القلب

[5] endo = داخلى، ضمن؛ cardi = قلب

[6] myo = عضلة؛ cardi = قلب



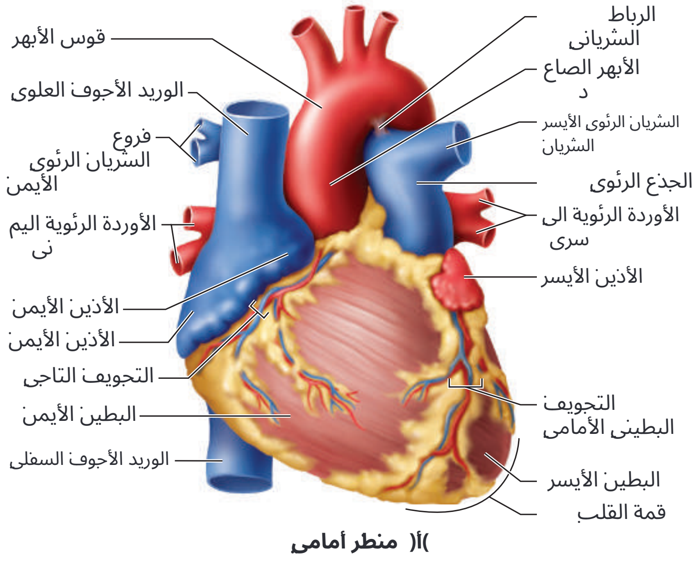
)أ(منظر أمامى، التشريح الخارجى

الوريد الأجوف العلوى
الوريد الأجوف السفلى
الحاجز بين الأذينين
الأذين الأيسر
الصمام الأذينى البطينى الأيسر
الأوعية الدموية التاجية
الأوتار الوترية
البطين الأيسر
الطبقة الداخلية للقلب)الإندوكارد(
عضلة القلب)الميوكارد(
الطبقة الخارجية للقلب)الإبيكارد(
قاعدة القلب
الأذين الأيمن
فتحة الجيب التاجى
الصمام الأذينى البطينى الأيمن
الأعمدة العضلية
البطين الأيمن
العضلات الحليمية
الدهون فوق التامور
الحاجز بين البطينين
قمة القلب

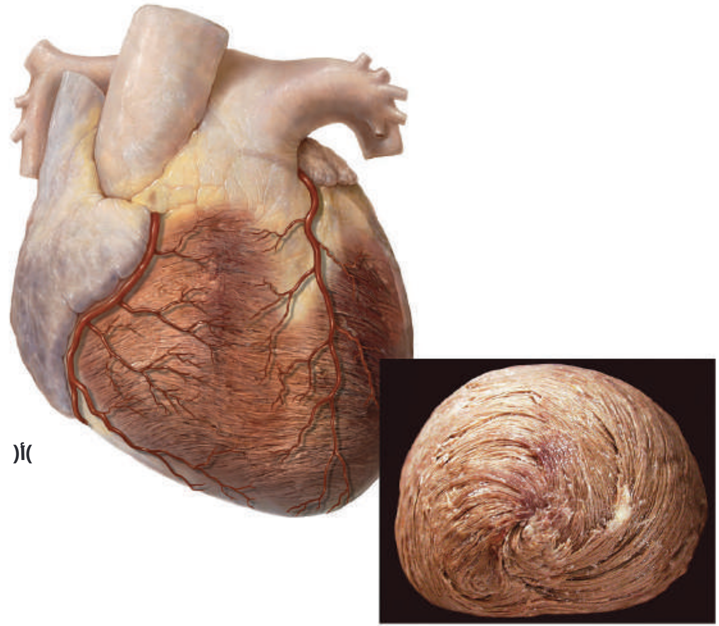
)ب(منظر خلفى، التشريح الداخلى

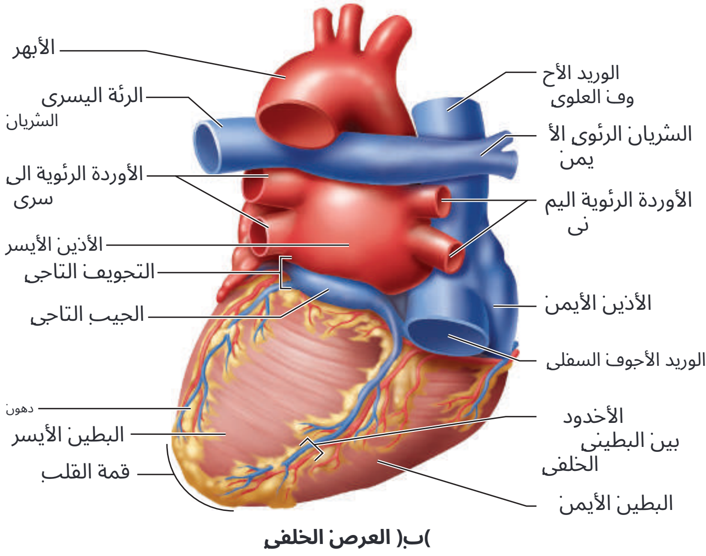
A&PR **الشكل 19.4** قلب جثة إنسان.)أ(منظر أمامى، التشريح الخارجى.)ب(منظر خلفى، التشريح الداخلى.

أ-ب: ماكجرو هيل



)أ(منظر أمامى





)ب(العرض الخلفى

الشكل 19.6 دوامة القلب.)أ(منظر أمامى للقلب مع جعل الطبقة الخارج ية للقلب شفافة لكشف حزم عضلة القلب.)ب(منظر من القمة لإظها ر طريقة لف العضلة حول القلب. هذا يؤدى إلى حركة التواء عند انقباض ال بطينين.

أ-ب: صورة ورسم توضيحى بواسطة روى شنايدر، جامعة توليدو. نموذج قلب بلاستينى للتوضيح برعاية الدكتور كارلوس بابتيستا، جامعة توليدو

الشكل 19.5 تشريح سطح القلب.)أ(منظر أمامى.
)ب(منظر خلفى. تم تحديد الأوعية الدموية التاجية على سطح القلب فى الشكل 19.10. APR

طبق ما تعرفه

أجزاء من الهيكل الليفى تصبح أحيانًا متكلسة فى الشيخوخة. كي ف تتوقع أن يؤثر هذا على وظيفة القلب؟

الوظائف:)1(يوفر دعماً هيكلياً للقلب، خاصة حول الصمامات وفتحا ت الأوعية الدموية الكبرى؛ يحافظ على هذه الفتحات مفتوحة ويمنع تمددها المفرط عند تدفق الدم من خلالها.)2(يثبت خلايا عضلة القل ب ويمنحها شيئاً لتشد عليه.

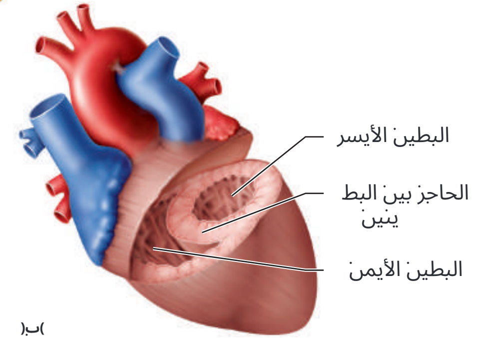
)3(كعازل كهربائى، يعمل كعزل كهربائى بين الأذينين والبطينين، بحي ث لا يمكن للأذينين تحفيز البطينين مباشرة. هذا العزل مهم لتوقيت وتنسيق النشاط الكهربائى والانقباضى.)4(يعتقد بعض الخبراء)رغم أ ن آخرين يختلفون(أن الارتداد المرن للهيكل الليفى قد يساعد فى إعاد ة ملء القلب بالدم بعد كل نبضة، مثل كرة مطاطية تتمدد عندما ترخ ى قبضتك.

19.2ب الغرف

للقلب أربع غرف، تُرى بوضوح فى مقطع أمامى)الشكل 19.7؛ انظر أ يضًا الشكل 19.4ب(. الغرفتان العلويتان هما الأذين الأيمن و الأذين ا لأيسر)AY-tree-uh؛ المفرد، أذين7(. هما غرف استقبال للدم العا ئد إلى القلب عبر الأوردة الكبيرة. معظم كتلة كل أذين تقع على الجان ب الخلفى من القلب، لذا فإن جزءًا صغيرًا فقط مرئى من المنظر الأما مى. هنا، لكل أذين شرفة تشبه الأذن تُسمى الصيوان8 تزيد قليلاً م ن حجمه)الشكل 19.5أ(. تطهر الأذينات جدرانًا رقيقة مرنة تتناسب م ع عبء عملها الخفيف—كل ما تفعله هو ضخ الدم إلى البطينين المو جودين أسفلها مباشرة. تفصل بينهما جدار يسمى الحاجز بين الأذينين . يطهر الأذين الأيمن وكلا الصيوانين أخاديد داخلية من عضلة القلب تُسمى العضلات المشطية9.

7أذين = مدخل
8الأذينة = الأذن الصغيرة
9بكتين = مشط؛ أتى = مثل

الشريان الأورطى
الرئة اليمنى
الشريان
الوريد الأجوف العلويا
لأوردة الرئوية اليم
نى
الأذين الأيمن
الحفرة البيضوية
عضلات مشطية
الصمام الأذينى البطينى الأيمن
الأوتار الوترية
الأعمدة العضلية
البطين الأيمن
الوريد الأجوف السفلى
الشريان الرئوى الأيسر
الجذع الرئوى
الأوردة الرئوية اليسرى
الصمام الرئوى
الأذين الأيسر
الصمام الأورطى
الصمام الأذينى البطينى الأيسر
البطين الأيسر
العضلة الحليمية
الحاجز بين البطينين
البطانة الداخلية للقلب
عضلة القلب
الغشاء الخارجى للقلب
)أ(



الشكل 19.7 التشريح الداخلى للقلب.)أ(مقطع أمامى، منظر أمامى.)ب(موق طع عرضى، يظهر أشكال وعلاقات الفراغ للبطينين. يلتف البطين الأيمن حول الأيسر على شكل حرف C، لكن كلا البطينين لهما نفس الحجم.

APR

هل تشبه عضلات الأذين المشطية عضلات الحليمات البطينية أكثر أم التراكيب الع ضلية الكارنية؟

إلى جميع أنحاء الجسم. البطين الأيسر له شكل دائرى تقريبًا فى المق طع العرضى، بينما يلتف البطين الأيمن حول الأيسر وله شكل C أو ه لالى)الشكل 19.7ب(. لتصور ذلك، اجعل قبضة يدك اليسرى واحت ضنها بيدك اليمنى؛ إذ تعكس يداك اليسرى واليمنى تقريبًا أشكال وع لاقة البطينين الأيسر والأيمن المكانية.

كلا البطينين يحتويان على نتوءات داخلية تُسمى trabeculae ca rneae[11])تُلفظ: ترا-بيك-يو-لى كار-نى-إى(. يُعتقد أن هذه النتوءات قد تساعد فى منع جدران البطينين من الالتصاق ببعضها البعض مثل الكؤ وس الشفطية عند انقباض القلب، مما يسمح

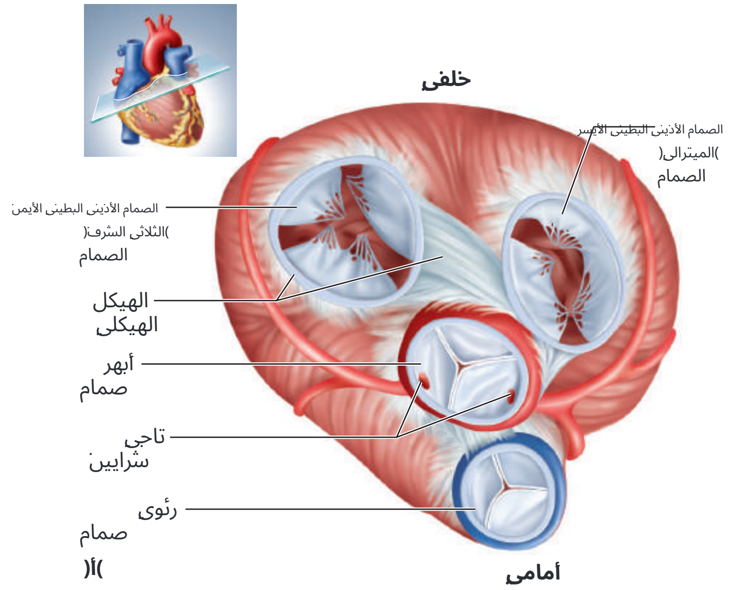
الحجرتان السفليتان، البطين الأيمن والبطين الأيسر، هما المضخ ات التى تضخ الدم إلى الشرايين وتحافظ على تدفقه فى جميع أنحاء ا لجسم. يشكل البطين الأيمن معظم الجزء الأمامى من القلب، بينما ى شكل البطين الأيسر القمة والجزء الخلفى السفلى. داخليًا، تفصل بين البطينين جدار عضلى سميك يُسمى الحاجز بين البطينين. يضخ البط ين الأيمن الدم فقط إلى الرئتين ثم يعود إلى الأذين الأيسر، لذا فإن ح داره عضلى بشكل معتدل. أما جدار البطين الأيسر، بما فى ذلك الحاج ز، فهو أسمك بمقدار مرتين إلى أربع مرات لأنه يتحمل أكبر عبء عم ل بين الحجرات الأربع، حيث يضخ الدم

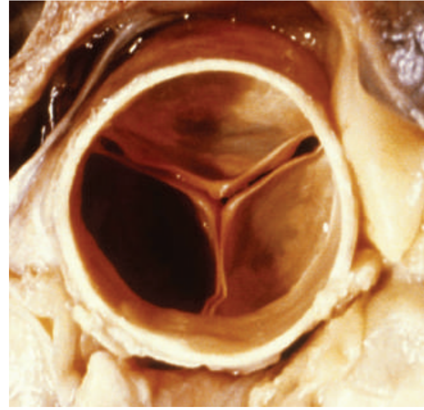
[11] *trabecula* = شعاع صغير؛ *carne* = لحم، نسيج عضلى

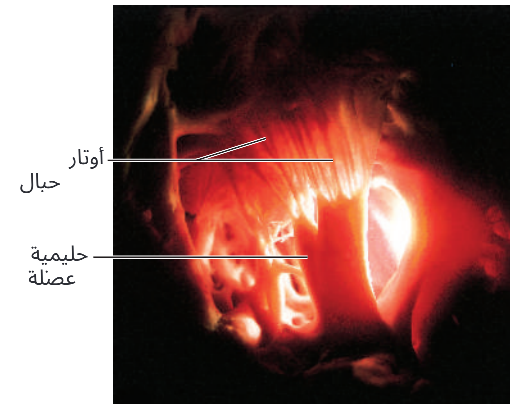
[10] *ventr* = البطن، الجزء السفلى؛ *icle* = صغير

جرات بسهولة أكبر عند إعادة ملئها. إذا بللت يديك، وضغطت راحتيك معًا ب قوة، ثم سحبتهما بعيدًا، يمكنك أن تلاحظ كيف تلتصق الأسطح المبللة الناع ة ببعضها البعض وكيف أن جدران القلب قد تفعل الشيء نفسه بدون التراك يب العضلية.

على السطح، تحدد حدود الحجرات الأربع ثلاثة أخاديد)تجاويف(، والتي تمتلئ إلى حد كبير بالدهون والأوعية الدموية التاجية)انظر الش كل 19.5أ(. الأخدود التاجي coronary[12] يحيط بالقلب بالقرب من القا عدة ويفصل الأذينين أعلاه عن البطينين أدناه. يمكن كشفه برفع حوا ف الأذينين. يمتد الأخدودان الآخران بشكل مائل نزولًا من الأخدود ال تاجي نحو القمة—واحد في مقدمة القلب يسمى الأخدود بين البطينين الأمامي والآخر في الخلف يسمى الأخدود بين البطينين الخلفي. تغطي هذه الأخاديد الحاجز بين البطينين. يحتوي الأخدود التاجي والأخدودا ن بين البطينيين على أكبر الأوعية الدموية التاجية.







الشكل 19.8 صمامات القلب.)أ(منظر علوي للقلب مع إزالة الأذينين.) ب(الصمام الأورطي، منظر علوي، يُظهر الثلاث شرف التي تلتقي على شكل حرف Y. إحدى الشرف مطللة بجلطة دموية.)ج(العضلة الحليمية والأوتار الو ترية مرئية من داخل البطين الأيمن. الأطراف العلوية للأوتار متصلة بشرف ا لصمام الأذيني البطيني الأيمن.

19.2ج الصمامات

لضخ الدم بفعالية، يحتاج القلب إلى صمامات تضمن تدفقًا باتجاه وا حد. يوجد صمام بين كل أذين وبطينه وصمام آخر عند مخرج كل بطين إلى الشريان الكبير)الشكل 19.7(، لكن القلب لا يحتوي على صماما ت حيث تفرغ الأوردة الكبيرة في الأذينين. يتكون كل صمام من سُرفا ت ليفية من النسيج تسمى الوريقات أو الصمامات الصغيرة مغطاة بالنهاية القلبية.

تنظم الصمامات الأذينية البطينية)AV(الفتحات بين الأذينين وا لبطينين. يُصوّر الصمام الأذيني البطيني الأيمن)ثلاثي الشرفات(عادة بثلاث وريقات والصمام الأذيني البطيني الأيسر بوريقتين)الشكل 19 .8(، لكن العدد يختلف، وعادة ما يتراوح بين اثنين وستة وريقات في كلتا الحالتين. يُعرف الصمام الأذيني البطيني الأيسر أيضًا باسم الصما م الميترالي)MY-trul(نسبة إلى تشابهه مع الميتر، وهو غ طاء رأس أسقف الكنيسة؛ وكان يُعرف سابقًا باسم الصمام ثنائي الشر فات، وهو اسم يعتبر الآن غير دقيق وقديم. تربط الحبال الوترية الخيط ية)chordae tendineae((COR-dee ten-DIN-ee-ee)، التي تش به خيوط المظلة، وريقات الصمام بعضلات حليمية مخروطية papilla ry[13] على أرضية البطين. تمنع هذه الحبال الصمامات الأذينية البطينية ة من الانقلاب إلى الداخل أو الانتفاخ نحو الأذينين عند انقباض البط نين. لكل عضلة حليمية ارتباطان أو ثلاثة أساسيان بالتراكيب العضلية الكارنية لجدار القلب.من بين وظائف أخرى، قد تتحكم هذه الارتباطا ت المتعددة في توقيت الإثارة الكهربائية للعضلات الحليمية، وقد توز ع الإجهاد الميكانيكي بطريقة مشابهة لوزن برج إيفل المدعوم على أرج له الأربعة. كما توفر الارتباطات المتعددة بعض التكرار الذي يحمي ال صمام الأذيني البطيني من الفشل الميكانيكي الكامل إذا فشل أحد الا رتباطات.

تنظم الصمامات الهلالية[14])الصمام الرئوي والأبهري(تدفق الدم من البطينين إلى الشرايين الكبرى. يتحكم الصمام الرئوي في الفتحة م ن البطين الأيمن إلى الجذع الرئوي، والصمام الأبهري في الفتحة من ا لبطين الأيسر إلى الأبهر. لكل منهما ثلاث وريقات على شكل جيوب قميص)الشكل 19.8ب(. عندما يُضخ الدم من البطينين، يدفع الدم ع بر هذه الصمامات من الأسفل ويضغط على وريقاتها.

---

[12] *coron* = تاج؛ *ary* = متعلق بـ
[13] *papill* = حلمة؛ *ary* = مثل، على شكل
[14] *نصف* = نصف؛ *لون* = قمر

ب: Biophoto Associates/Science Source; ج: McGraw Hill

يتدفق الدم مباشرة من الأذين الأيمن، عبر الصمام الأذينى البطينى الأ يمن، إلى البطين الأيمن. عندما ينقبض البطين الأيمن، يضخ الدم ع بر الصمام الرئوى إلى الجذع الرئوى، فى طريقه إلى الرئتين لتبادل ثانى أكسيد الكربون بالأكسجين.

يعود الدم من الرئتين عبر وريدى رئة اثنين على اليسار واثنين عل ى اليمين؛ جميع هذه الأربعة تفرغ فى الأذين الأيسر. يتدفق الدم عبر ا لصمام الأذينى البطينى الأيسر)الصمام الميترالى(إلى البطين الأيسر. انقباض البطين الأيسر يضخ هذا الدم عبر الصمام الأبهرى إلى الشريان الأبهر الصاعد، فى طريقه إلى دورة أخرى حول الدورة الدموية الجهازية .

19.2هـ الدورة التاجية

إذا استمر قلبك لمدة 80 عامًا وكان ينبض بمعدل 75 مرة فى الدقيقة ، فسوف ينبض أكثر من 3 مليارات مرة، وسيضخ كل بطين أكثر من 200 مليون لتر من الدم. إنه، باختصار، عضو يعمل بجد بشكل ملحوظ ، ومن المفهوم أنه يحتاج إلى إمداد وفير من الأكسجين والمواد المغذ ية. هذه الاحتياجات لا تُلبى إلى حد كبير بواسطة الدم فى غرف القلب، لأن انتشار المواد من هناك عبر عضلة القلب سيكون بطيئًا جدًا. بدلاً من ذلك، تمتلك عضلة القلب إمدادها الخاص من الشرايين والشعيرا ت الدموية التى توصل الدم إلى كل خلية عضلية. تشكل الأوعية الدمو ية لجدار القلب الدورة التاجية)الشكل 19.10(.

صد جدران الشرايين. عندما تسترخى البطينات، يتدفق الدم الشريانى خلفيًا نحو البطينات، لكنه يملأ الشرف بسرعة.

تلتقى الجيوب المنتفخة فى المركز وتغلق الفتحة بسرعة، لذا يتدفق القليل من الدم مرة أخرى إلى البطينين. وبسبب الطريقة التى تتصل بها هذه الصمامات بجدار الشريان، لا يمكن أن تنقلب أكثر مما ينقلب جيب القميص إلى الداخل إذا دفعت يدك فيه. لذلك، فهى لا تحتاج إلى أو تمتلك أوتارًا وترية.

الصمامات لا تفتح وتغلق بأى جهد عضلى خاص بها. تُدفع الشر فات ببساطة للفتح والإغلاق بواسطة التغيرات فى ضغط الدم التى تح دث عندما تنقبض غرف القلب وترتخى.

فى وقت لاحق من هذا الفصل، سنلقى نظرة أقرب على هذه التغيرا ت فى الضغط وتأثيرها على الصمامات.

19.2د تدفق الدم عبر الغرف

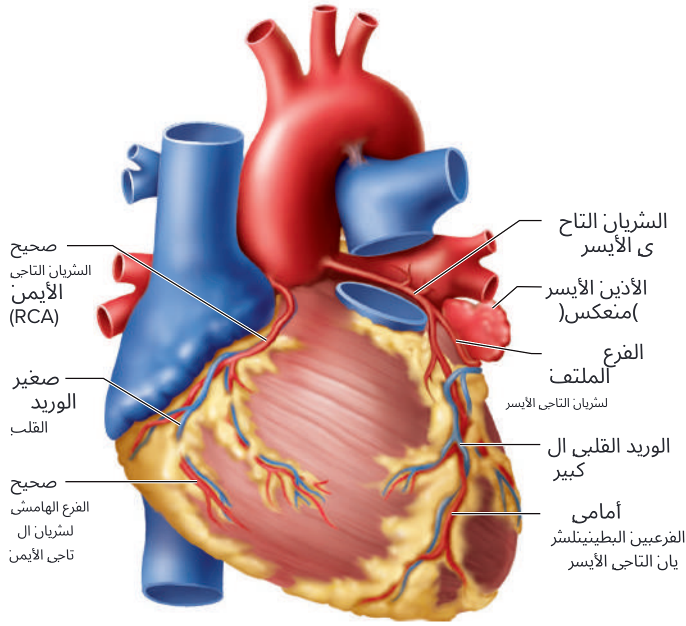
حتى القرن السادس عشر، كان يُعتقد أن الدم يتدفق مباشرة من البط ين الأيمن إلى الأيسر عبر مسام غير مرئية فى الحاجز. وهذا بالطبع غير صحيح. يُحفظ الدم منفصلًا تمامًا على الجانبين الأيمن والأيسر من ا لقلب. الشكل 19.9 يُظهر مسار الدم أثناء انتقاله من الأذين الأيمن ع بر الجسم والعودة إلى نقطة البداية.

الدم الذى مر عبر الدورة الدموية الجهازية يعود عبر الوريدين الأجو فين العلوى والسفلى إلى الأذين الأيمن.

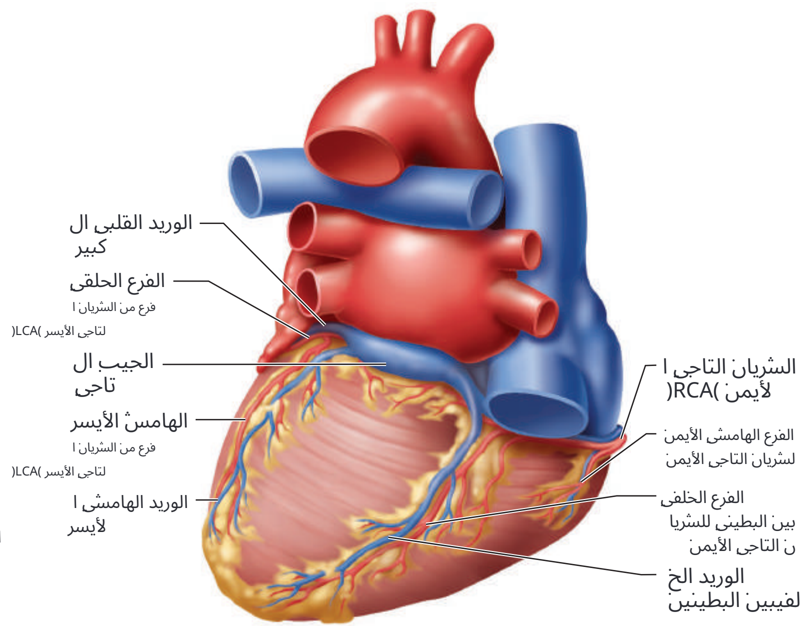
الشريان الأورطى
متفوق الوريد الأجوف
صحيح الأوردة الرئوية
الأذين الأيمن
الصمام الأذينى البطينى الأيمن الصمام
الأيمن البطين
سفلى الوريد الأجوف
الشريان الرئوى ا لأيسر
الجذع الرئوى
الأوردة الرئوية الي سرى
الأذين الأيسر
صمام الأبهر
صمام الأذين البطين الأيسر
البطين الأيسر

1 يدخل الدم إلى الأذين الأيمن من الوريدين الأجوف العلوى والوريد الأجوف السفلى.
2 يتدفق الدم فى الأذين الأيمن عبر صمام الأذين والبطين الأيمن إلى البطين الأيمن.
3 انقباض البطين الأيمن يدفع صمام الرئة إل ى الفتح.
4 يتدفق الدم عبر صمام الرئة إلى الجذع الرئوى.
5 يتم توزيع الدم عبر الشرايين الرئوية اليمنى وا ليسرى إلى الرئتين، حيثُيُفرغ ثانى أكسيد الكربون C O 2 ويحمّل الأكسجين 2O.
6 يعود الدم من الرئتين عبر الأوردة الرئوية إلى الأذ ين الأيسر.
7 يتدفق الدم فى الأذين الأيسر عبر صمام الأذين والبطين الأيسر إلى البطين الأيسر.
8 انقباض البطين الأيسر)بالتزامن مع الخطوة 3(يدفع صمام الأبهر إلى الفتح.
9 يتدفق الدم عبر صمام الأبهر إلى الأبهر الصاعد.
10 يتم توزيع الدم فى الأبهر إلى كل عضو فى الجسم، حيثُ يُفرغ الأكسجين O_2 ويحمّل ثانى أكسيد الكربون CO_2.
11 يعود الدم إلى الأذين الأيمن عبر الأوردة الأجوف.

الشكل 19.9 مسار تدفق الدم عبر القلب. المسار من 4 إلى 6 هو الدورة الرئوية، والمسار من 9 إلى 11 هو الدورة الجهازية. الأسهم البنفسجية)فى الخطوات 1–5(تشير إلى الدم الفقير بالأكسجين؛ الأسهم البرتقالية)فى الخطوات 6–10(تشير إلى الدم الغنى بالأكسجين. APR



)أ(منظر أمامى



)ب(العرض الخلفى

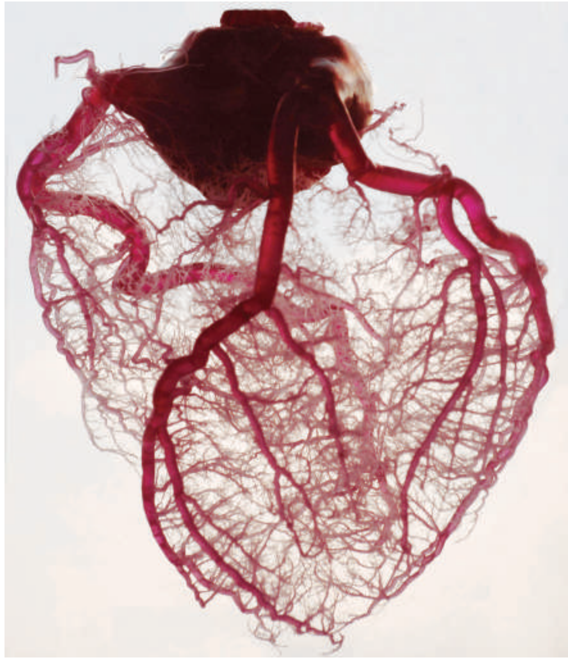
الإمداد الشريانى

الدورة الدموية التاجية هى الجانب الأكثر تباينًا فى تشريح القلب. الو صف التالى يغطى فقط النمط الذى يُرى فى حوالى 70% إلى 85% م ن الأشخاص، وفقط أكبر الأوعية الدموية القليلة.)قارن الكثافة الكبيرة للأوعية الدموية التاجية كما هو موضح فى الشكل 19.10ح.(فور خروج الأبهر من البطين الأيسر، ينبثق منه شريان تاجى أيمن وأي سر. تقع فتحات هذين الشريانين عميقًا فى الجيوب التى تشكلها اث تان من صمامات الأبهر)انظر الشكل 19.8أ(. الشريان التاجى الأيسر (LCA) يمر عبر الأخدود التاجى تحت الأذين الأيسر وينقسم إلى فرعين:

1. الفرع الأمامى بين البطينى يمر عبر الأخدود الأمامى بين ا لبطينى إلى القمة، يلتف حول المنعطف، ويقطع مسافة قصير ة صعودًا على الجانب الخلفى للقلب.
هناك ينضم إلى الفرع الخلفى بين البطينى الذى وُصف باختصار. سريريًا، يُسمى أيضًا الفرع *الأمامى النازل الأيسر (LAD).* تزود هذه الشريان الدم إلى كلا البطينين والثلثين الأماميين من الحاجز بين البطينى.
2. يستمر الفرع الحلقى حول الجانب الأيسر من القلب فى الأ خدود التاجى. ينبثق منه فرع هامشى أيسر يمر على الهامشُ الأ يسر للقلب ويزود الدم إلى البطين الأيسر. ثم ينتهى الفرع الح لقى على الجانب الخلفى من القلب. يزود الدم للأبُطين الأيسر وجدار الأذين الأيسر الخلفى.

يزود الشريان التاجى الأيمن)RCA(الأذين الأيمن وعقدة الجيب الأذينى)منظم النبض(، ويستمر على طول الأخدود التاجى تحت الأذينة اليمنى، وينبثق منه فرعين خاصين به:

1. الفرع الهامشى الأيمن يتجه نحو قمة القلب ويزود الجانب الجانبى من الأذين والبطين الأيمن.



)ح(قالب التاكل

الشكل 19.10 الأوعية الدموية التاجية الرئيسية.
)أ(منظر أمامى.)ب(منظر خلفى.)ح(قالب تاكل وعائى لدورة الدم التاجية. لاحظ الكثافة الكبيرة للأوعية الصغيرة التى تخدم عضلة القلب العاملة بجد. APR

روب جونز الثالث / مومنت / جيتى إيماجز

فى حالة الراحة، تزود الأوعية الدموية التاجية عضلة القلب بنحو 250 مل من الدم فى الدقيقة. وهذا يشكل حوالى 5% من الدم المتداول الذى يلبى الاحتياجات الأيضية للقلب، على الرغم من أن القلب يشكل فقط 0.5% من وزن الجسم. يتلقى القلب عشرة أضعاف "الحصة العادلة" له لدعم عبء العمل الشاق الذى يقوم به.

تدفق الدم.)2(عندما تنقبض البطينات، يُجبر صمام الأبهر على الفتح وتغطى شرفاته فتحات الشرايين التاجية، مما يمنع تدفق الدم إليها.) 3(عندما تسترخى، يتدفق الدم فى الأبهر لفترة وجيزة عائدًا نحو القلب . يملأ شرفات صمام الأبهر ويتدفق جزء منه إلى الشرايين التاجية، م ثل الماء الذى يُسكب فى دلو ويتدفق من خلال فتحة فى القاع. لذلك، يزداد تدفق الدم فى الأوعية الدموية التاجية أثناء استرخاء البطين.

التصريف الوريدى

يشير التصريف الوريدى إلى المسار الذى يخرج منه الدم من عضو ما. بعد تدفقه عبر الشعيرات الدموية لجدار القلب، يفرغ حوالى ٥٪ إلى ١٠٪ من دم الشريان التاجى من أوعية صغيرة تُسمى الأوردة القلبية ال صغيرة مباشرةً فى حجرات القلب، وخاصة البطين الأيمن. أما الباقى فيعود إلى الأذين الأيمن عبر المسار التالى:

- تجمع الوريد القلبى الكبير الدم من الجانب الأمامى للقلب و يمر بجانب الشريان بين البطينى الأمامى. يحمل الدم من القم ة نحو الأخدود التاجى، ثم يقوس حول الجانب الأيسر من القل ب ويفرغ فى الجيب التاجى.
- الوريد بين البطينى الخلفى)الوريد القلبى الأوسط(، الموجو د فى الأخدود بين البطينى الخلفى، يجمع الدم من الجانب الخل فى للقلب. هو أيضًا يحمل الدم من القمة إلى الأعلى ويفرغ فى نفس الجيب.
- يمر الوريد الهامشى الأيسر من نقطة قريبة من القمة صعودًا عل ى الهامش الأيسر، ويفرغ أيضًا فى الجيب التاجى.
- الجيب التاجى، وهو وريد عرضى كبير فى الأخدود التاجى على ا لجانب الخلفى من القلب، يجمع الدم من الأوردة الثلاثة المذكور ة أعلاه بالإضافة إلى بعض الأوردة الصغيرة الأخرى. يفرغ الدم فى الأذين الأيمن.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

3. سمِّ الطبقات الثلاث للقلب ووصف الفروق الهيكلية بينها.
4. ما هى وظائف الهيكل الليفى؟
5. تتبع تدفق الدم عبر القلب، مع تسمية كل حجرة وصمام بالترتي ب.
6. ما هى الفروع الرئيسية الثلاثة للشريان التاجى الأيسر؟ أين تقع على سطح القلب؟ ما هى فروع الشريان التاجى الأيمن، وأين تقع؟
7. ما هى الأهمية الطبية للتوصيلات التشريحية)التشابكات(فى نظام الشرايين التاجية؟
8. لماذا تحمل الشرايين التاجية تدفقًا دمويًا أكبر أثناء استرخاء البط ين مقارنةً بفترة انقباض البطين؟
9. ما هى الأوردة الثلاثة الرئيسية التى تصب فى الجيب التاجى؟

2. يستمر الشريان التاجى الأيمن حول الهامش الأيمن للقلب إلى الجانب الخلفى، ويرسل فرعًا صغيرًا إلى العقدة الأذينية البطينى ة، ثم ينبثق فرعًا كبيرًا خلفى بين البطينى . يسير هذا الفرع ف ى الأخدود المقابل ويزود الجدران الخلفية لكلا البطينين وكذلك الجزء الخلفى من الحاجز بين البطينى. ينتهى بانضمامه إلى الفر ع الأمامى بين البطينى للشريان التاجى الأيسر.

طلب الطاقة لعضلة القلب حرج جدًا بحيث أن انقطاع إمداد الدم إلى أى جزء من عضلة القلب يمكن أن يسبب نخرًا خلال دقائق. يمكن لترسب دهنى أو جلطة دموية فى شريان تاجى أن يسبب احتشاء ع ضلة القلب[15])MI(، أو نوبة قلبية)انظر التعمق 19.1(. لل حماية من ذلك، تتقارب بعض الشرايين التاجية فى نقاط مختلفة وتج مع تدفق دمها إلى نقاط أبعد فى المسار. النقاط التى تلتقى فيها شر يانان تسمى *التوصيلات الشريانية*)anastomoses(. توفر هذه م سارات بديلة لتدفق الدم

)الدورة الدموية الجانبية(التى يمكن أن تزود نسيج القلب بالدم إذا أصبح المسار الأساسى مسدودًا.

فى الأعضاء غير القلب، عادة ما يبلغ تدفق الدم الشريانى ذروته ع ندما ينقبض القلب ويضخ الدم إلى الشرايين الجهازية، وينخفض عند ما تسترخى البطينات وتمتلئ. والعكس صحيح فى الشرايين التاجية: يبلغ التدفق ذروته عندما يسترخى القلب. هناك ثلاثة أسباب لذلك.) 1(انقباض عضلة القلب يضغط على الشرايين التاجية ويعيق



نظرة أعمق 19.1

التطبيق السريرى

الذبحة الصدرية والنوبة القلبية

يمكن أن يسبب انسداد تدفق الدم التاجى ألمًا فى الصدر يُعرف باسم الذبحة الص درية[16])أن-جاى-نا بيك-توريس(أو، بشكل أكثر خطورة، احتشاء عضلة القلب)النو بة القلبية(. الذبحة الصدرية هى شعور بثقل أو ألم فى الصدر ناتج عن نقص مؤقت وقابل للانعكاس فى نقص التروية[17])إس-كى-مى-آه(، أو نقص تدفق الدم إلى ع ضلة القلب. عادةً ما تحدث عندما تضيق شريان تاجى مسدود جزئيًا. يتحول عض ل القلب المحروم من الأكسجين إلى التخمر اللاهوائى، مما ينتج اللاكتات الذى يح فز مستقبلات الألم فى القلب. يختفى الألم عندما يسترخى الشريان ويستأنف تد فق الدم الطبيعى.

من ناحية أخرى، فإن احتشاء عضلة القلب)MI(هو موت مفاجئ لجزء من ع ضلة القلب نتيجة انسداد طويل الأمد فى الدورة التاجية. غالبًا ما تصبح الشرايين ا لتاجية مسدودة بواسطة جلطة دموية أو ترسب دهنى يُسمى اللويحة التصلبية)ان ظر نظرة أعمق 19.4(.

مع موت عضلة القلب الواقعة أسفل الانسداد، يشعر الشخص عادةً بثقل أو ألم ضاغط فى الصدر، وغالبًا ما "يشع" إلى الكتف والذراع اليسرى. بعض حالات احت شاء عضلة القلب تكون بدون ألم، وهى نوبات قلبية "صامتة"، خاصةً لدى كبار ال سن أو مرضى السكرى. تضعف الاحتشاءات جدار القلب وتعطل مسارات التوص يل الكهربائى، مما قد يؤدى إلى الرجفان وتوقف القلب. مع استثناءات نادرة مثل جائحة كوفيد-19 فى 2020–22، كان فشل القلب لفترة طويلة السبب الرئيسى ل لوفاة فى الولايات المتحدة، حيث يشكل حوالى 27% من الوفيات.

[15]*احتشاء* = للحشو
[16]*الذبحة الصدرية* = الاختناق، الخنق؛ *الصدرية* = من الصدر
[17]*إسكيميا* = الاحتباس؛ *الدم* = الدم؛ *الحالة* = الحالة

عصنلة القلب ونظام التوصيل القلبى 19.3

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف الخصائص الهيكلية والتمثيلية الفريدة لعضلة القلب؛

ب. شرح طبيعة وأهمية الوصلات بين خلايا عضلة القلب؛ و

ح. وصف منظم ضربات القلب ونظام التوصيل الكهربائى الداخلى.

أوضح حقيقة فسيولوجية عن القلب هى إيقاعه المنتظم. فهو ينقبض بفواصل منتظمة، عادة حوالى 75 نبضة فى الدقيقة فى البالغ المستريح. بين اللافقاريات مثل المحار، والسرطانات، والحشرات، يتم تحفيز كل نبضة قلب بواسطة منظم ضربات فى الجهاز العصبى. لكن فى الفقاريات من الأسماك إلى البشر، يُقال إن نبض القلب *myogenic*[18] لأنه ينشأ من داخل القلب نفسه. يوصف القلب بأنه **autorhythmic**[19] لأنه لا يعتمد على الجهاز العصبى لإيقاعه. لديه منظم ضربات كهربائى مدمج ويستمر فى النبض حتى لو أُزيل من الجسم. ننتقل الآن إلى عضلة القلب، ومنظم الضربات، والنظام الكهربائى الداخلى — الأسس لنشاطه الكهربائى وضرباته الإيقاعية.

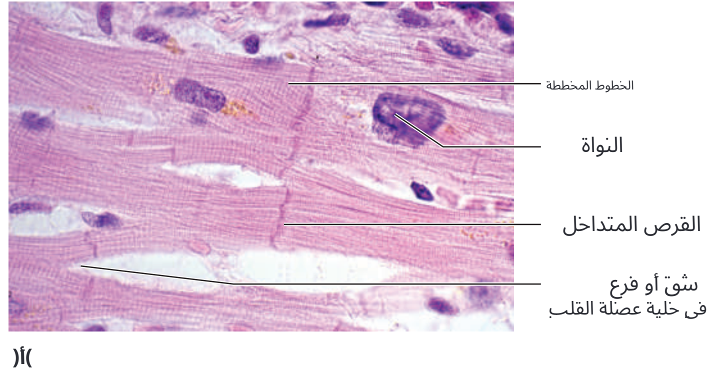
19.3أ بنية عضلة القلب

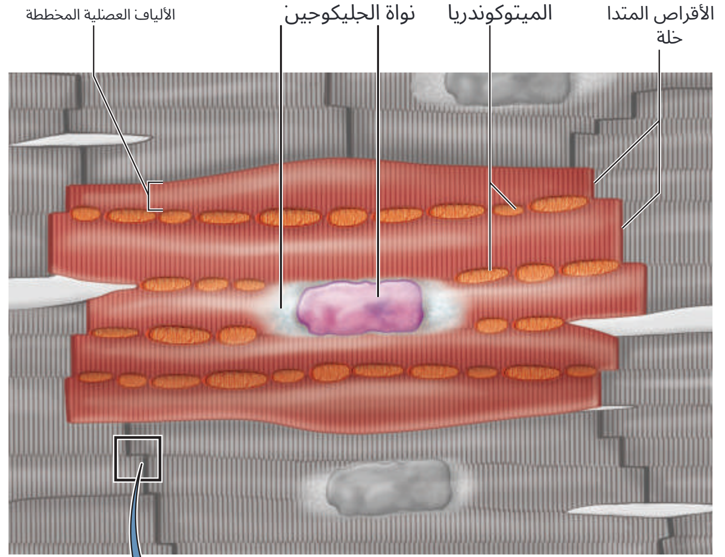
القلب يتكون فى الغالب من عضلة. عضلة القلب مخططة مثل العضلة الهيكلية، لكنها تختلف عنها كثيرًا فى الجوانب الهيكلية والوظيفية الأخرى—ويجب أن تكون كذلك إذا أردنا أن تضخ بلا خطأ، أكثر من مرة فى الثانية، لمدة لا تقل عن ثمانين أو تسعين عامًا.

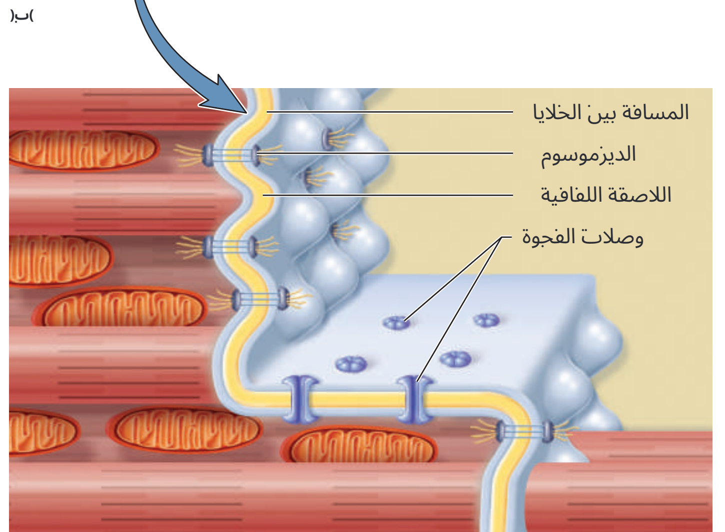
خلايا عضلة القلب، وهى خلايا عضلية للقلب، قصيرة نسبيًا، سميكة، ومتفرعة، عادة ما تكون بطول 50 إلى 100 ميكرومتر (μm) وعرض 10 إلى 20 ميكرومتر (الشكل 19.11). نهايات الخلية متفرعة قليلاً، مثل جذع شجرة به شقوق عميقة فى النهاية. من خلال هذه الفروع، تتصل كل خلية عضلية قلبية بعدة خلايا أخرى، بحيث تشكل معًا شبكة عبر كل زوج من حجرات القلب—شبكة واحدة فى الأذينين وأخرى فى البطينين.

معظم خلايا عضلة القلب تحتوى على نواة واحدة تقع فى الوسط، لكن ما يصل إلى ثلثها يحتوى على نواتين أو أكثر. غالبًا ما تحيط بالنواة كتلة فاتحة اللون من الجليكوجين. الشبكة الساركوبلازمية أقل تطورًا مقارنة بالعضلة الهيكلية؛ فهى تفتقر إلى الأكياس النهائية، رغم وجود أكياس تشبه الأقدام مرتبطة بأنابيب T. أنابيب T أكبر بكثير من تلك الموجودة فى العضلة الهيكلية. أثناء تنبيه الخلية، تسمح بدخول أيونات الكالسيوم من السائل خارج الخلية لتنشيط انقباض العضلة.

تتصل خلايا عضلة القلب نهاية بنهاية بواسطة وصلات سميكة تسمى الأقراص المتداخلة (in-TUR-ka-LAY-ted). مع الصبغة النسيجية المناسبة، تظهر هذه كخطوط داكنة أكثر سمكًا من







الشكل 19.11 عضلة القلب. (أ) صورة ضوئية مجهرية. (ب) بنية خلية عضلة القلب وعلاقتها بالخلايا المجاورة. كل المنطقة الملونة هى خلية واحدة. لاحظ أنها مشقوقة عند الأطراف ومرتبطة عادة بخليتين أو أكثر من خلايا عضلة القلب المجاورة بواسطة الوصلات الميكانيكية والكهربائية للأقراص المتداخلة. (ح) بنية القرص المتداخل.

أ: خوسيه لويس كالفو/Shutterstock

[18] *myo* = عضلة؛ *genic* = ناشئ من

[19] *auto* = ذاتى

كليًا عن طريق التليف)الندب(. عصلة القلب لديها قدرة قليلة جدًا عل ى الانقسام والتجدد.

19.3ب أيض عصلة القلب

يعتمد عصل القلب بشكل شبه حصرى على التنفس الهوائى لإنتاج ATP. وهو غنى جدًا بالمايوغلوبين)مصدر قصير الأمد للأكسجين للتنفس الهوائى(والجليكوجين)للطاقة المخزنة(. تملأ الميتوكوندريا الضخمة حوالى 25% من الخلية؛ بالمقارنة، تحتوى ألياف العصلات الهيكلية على ميتوكوندريا أصغر بكثير تشغل فقط 2 % من الألياف. العصلة القلبية قابلة للتكيف نسبيًا فيما يتعلق بالوقو د العضوى المستخدم. فى حالة الراحة، يحصل القلب على حوالى 60 % من طاقته من الأحماض الدهنية، و35% من الجلوكوز، و5% من م صادر وقود أخرى مثل الكيتونات، واللاكتات، والأحماض الأمينية. الع صلة القلبية أكثر عرضة لنقص الأكسجين منها لنقص أى وقود محدد. وبما أنها تستخدم القليل من التخمير اللاهوائى أو آلية دين الأكسجين ، فهى ليست عرضة للإرهاق. يمكنك بسهولة تقدير هذه الحقيقة من خلال عصر كرة مطاطية بقبضتك مرة كل ثانية لمدة دقيقة أو دقيقتي ن.

سوف تشعر قريبًا بالضعف والإرهاق فى عصلات يدك وربما تشعر بم زيد من الامتنان لأن العصلة القلبية يمكنها الحفاظ على إيقاع كهذا، د ون إرهاق، طوال الحياة.

19.3ج نظام التوصيل

يتم تنسيق نبضات القلب بواسطة نظام توصيل قلبى يتكون من منظ م ضربات داخلى ومسارات توصيل تشبه الأعصاب عبر عصلة القلب. يقوم هذا النظام بتوليد ونقل الإشارات الكهربائية الإيقاعية بالترتيب ا لتالى)الشكل 19.12(:

1 العقدة الجيبية الأذينية)SA(هى بقعة من خلايا عصلة القلب الم عدلة فى الأذين الأيمن، تحت الطبقة الخارجية للقلب بالقرب م ن الوريد الأجوف العلوى. هذه هى منظم الضربات الذى يبدأ كل نبضة قلب ويحدد معدل ضربات القلب.

الخطوط العرضية. القرص المتداخل هو هيكل معقد يشبه الدرج وله ثلاث ميزات مميزة غير موجودة فى العصلات الهيكلية:

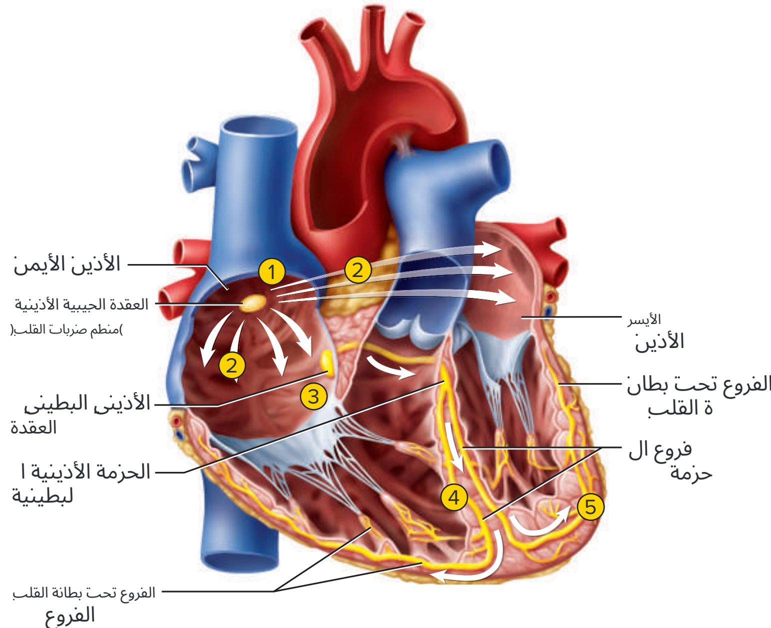
1. طيّات متداخلة. غشاء البلازما فى نهاية الخلية مطوى إلى حد ما مثل قاع علبة البيض. طيّات الخلايا المجاورة تتشابك مع بعضها البعض وتزيد من مساحة سطح الاتصال بين الخلايا.

2. وصلات ميكانيكية. الخلايا متصلة بإحكام بواسطة نوعين من ا لوصلات الميكانيكية: اللفافة اللاصقة)fascia adheren[20] FASH-ee (s والديسموسومات. اللفافة اللاصقة)ah ad-HEER-enz هى الأكثر انتشارًا. إنها شريط عر يض، يشبه شريط الفيلكرو، حيث يرتكز الأكتين فى الخيوط الر قيقة على غشاء البلازما من الداخل، وترتبط كل خلية بالأخرى ع بر بروتينات عابرة للغشاء تمتد عبر الفجوة بين الخلايا. اللفا فة اللاصقة مقطوعة هنا وهناك بواسطة الديسموسومات — رقع من الروابط الميكانيكية التى تمنع خلايا القلب المتقلص ة من الانفصال. كلا من الديسموسومات والوصلات الفجوية)ال تالى(موصوفة بتفصيل أكبر فى الفصل 5.

3. وصلات كهربائية. تحتوى الأقراص المتداخلة أيضًا على *الوصلات الفجوية*، التى تشكل قنوات تسمح للأيونات بالتدفق من السى توبلازم فى خلية عصلة القلب إلى الخلية المجاورة مباشرة. تمكن كل خلية عصلة قلب من تحفيز جيرانها كهربائيًا. وهكذ ا، يتصرف كامل عصلة الأذينين تقريبًا كخلية واحدة، وكذلك كا مل عصلة البطينين. هذا العمل الموحد ضرورى لضخ غرفة الق لب بفعالية.

تحتوى العصلات الهيكلية على خلايا قمرية يمكنها الانقسام واس تبدال ألياف العصلات الميتة إلى حد ما. ومع ذلك، تفتقر عصلة القل ب إلى هذه الخلايا، لذا فإن إصلاح عصلة القلب التالفة يكون تقريبًا

[20] *لفافة* = شريط؛ *لاصقة* = ملتصقة



1 يُطلق العقدة الجيبية الأذينية)SA node(الإشارة.

2 ينتشر التحفيز عبر عصلة الأذين.

3 يُطلق العقدة الأذينية البطينية الإشارة.

4 تنتشر الإثارة نزولاً عبر الحزمة الأذينية البطينية.

5 توزع الفروع تحت البطينية الإ ثارة عبر عصلة البطين.

الشكل 19.12 نظام التوصيل القلبى. تنتقل الإشارات الكهربائية على طول المسارات المشار إليها بالأسهم.

2 تنتشر الإشارات من العقدة الجيبية الأذينية فى جميع أنحاء الأذيني ن، كما هو موضح بالأسهم البيضاء فى الشكل.

3 تقع العقدة الأذينية البطينية)AV(فى الطرف السفلى للحاجز بي ن الأذينين بالقرب من الصمام الأذينى البطينى الأيمن. تعمل هذه العقدة كبوابة كهربائية إلى البطينين. الهيكل الليفى يعم ل كعازل لمنع التيارات من الوصول إلى البطينين عبر أى مسار آ خر.

4 الحزمة الأذينية البطينية)AV(هى المسار الذى تخرج من خلاله ا لإشارات من العقدة الأذينية البطينية. تنقسم الحزمة قريبًا إلى فروع الحزمة اليمنى واليسرى، التى تدخل الحاجز بين البطينين وتنزل نحو القمة.

5 الفروع تحت البطينية)ألياف بوركنجى(تتكون من عمليات تنشأ من الطرف السفلى لفروع الحزمة. على الرغم من أنها ت شبه الأعصاب فى عملها، إلا أنها مكونة من خلايا عضلية قلبية معدلة متخصصة فى التوصيل الكهربائى بدلاً من الان قباض. عند قمة القلب، تنعطف هذه الألياف صعودًا وتتفرع فى جميع أنحاء عضلة البطين، موزعة الإثارة الكهربائية إلى خلا يا عضلة البطين)الأسهم البيضاء فى الشكل(. تشكل شبكة أك ثر تعقيدًا فى البطين الأيسر مقارنة بالبطين الأيمن. بمجرد أن تنقل الإشارة الكهربائية إلى نهاياتها، تستمر خلايا عضلة الق لب نفسها فى نقلها عن طريق تمرير الأيونات من خلية إلى أخرى عبر الوصلات الفجوية.

ل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

10. ما العضية أو العضيات الأقل تطورًا فى عضلة القلب مقا رنة بعضلة الهيكل العظمى؟ وما العضية أو العضيات الأكثر تطورً ا؟ ما الأهمية الوظيفية لهذه الاختلافات بين أنواع العضلات؟

11. ما هو القرص المتداخل بالضبط، وما الوظيفة التى يؤديها كل م كون من مكوناته؟

12. نادراً ما تستخدم عضلة القلب التخمر اللاهوائى لتوليد ATP. م ا الفائدة التى نحصل عليها من هذه الحقيقة؟

13. أين يقع منظم ضربات القلب؟ وما اسمه؟ تتبع مسار الإثارة الكه ربائية من هناك إلى خلية عضلة القلب فى البطين الأيسر، مع ت سمية كل مكون من مكونات نظام التوصيل على طول الطري ق.

النشاط الكهربائى والانقبا ضى للقلب 19.4

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. اشرح لماذا ينبض العقدة الجيبية الأذينية بشكل تلقائى و منتظم؛

ب. اشرح كيف يثير العقدة الجيبية الأذينية عضلة القلب؛

ح. وصف إمكانات العمل غير العادية لعضلة القلب وربطها بسلوك الانقباض للقلب؛ و

د. تفسير تخطيط القلب الكهربائى الطبيعى.

فى هذا القسم، نفحص كيف تنتج الأحداث الكهربائية فى القلب دورة الانقباض والاسترخاء. يُسمى الانقباض الانقباض)SIS-toe-lee(وا لاسترخاء الانبساط)dy-ASS-toe-lee(. يمكن أن تشير هذه ال مصطلحات إلى جزء معين من القلب)على سبيل المثال، الانقباض ا لأذينى(، ولكن إذا لم يتم تحديد حجرة معينة، فإنها عادةً ما تشير إلى ا لفعل البطينى الأكثر وضوحًا وأهمية، والذى يطرد الدم من القلب.

19.4أ إيقاع القلب

النبض الطبيعى الذى يثيره العقدة الجيبية الأذينية يسمى الإيقاع الجيبى. فى ح الة الراحة، ينبض قلب البالغ عادةً حوالى 70 إلى 80 مرة فى الدقيقة، على الرغم من أن معدلات ضربات القلب من 60 إلى 100 نبضة فى الدقيقة ليست غير معتادة.

أى منطقة من الإطلاق التلقائى غير العقدة الجيبية الأذينية تسمى بؤ رة خارجية[21]. إذا تضررت العقدة الجيبية الأذينية، قد تتولى بؤرة خارجية ا لسيطرة على إيقاع القلب. أكثر البؤر الخارجية شيوعًا هى العقدة الأذينية ا لبطينية، التى تنتج نبضات قلب أبطأ تتراوح بين 40 إلى 50 نبضة فى الد قيقة تسمى الإيقاع العقدى)الوصلى(. إذا لم تكن العقدة الجيبية الأذينية أ و العقدة الأذينية البطينية تعمل، فإن البؤر الخارجية الأخرى تطلق نبضات بمعدلات تتراوح بين 20 إلى 40 نبضة فى الدقيقة. الإيقاع العقدى كافٍ ل لحفاظ على الحياة، لكن معدل 20 إلى 40 نبضة فى الدقيقة يوفر تدفق دم قليل جدًا إلى الدماغ ليكون قابلًا للبقاء. هذه واحدة من الحالات التى تس تدعى استخدام منظم ضربات القلب الاصطناعى.

19.4ب فسيولوجيا منظم ضربات القلب

لماذا تطلق العقدة الجيبية الأذينية نبضات تلقائية على فترات منتظمة؟ على عكس العضلات الهيكلية أو الخلايا العصبية، لا تمتلك خلايا العقدة الجيبية الأذينية جهد غشاء مستقر فى حالة الراحة. يبدأ جهد غشائها عند حوالى −60 مللى فولت ويرتفع تدريجيًا، مظهرًا إزالة استقطاب تدريجية تسمى جهد منظم ضربات القلب)الجهد المسبق( )الشكل 19.13(. ينتج هذا بشكل أساسى عن تدفق بطيء لأيونات الصوديوم Na^+)أيونات الصوديوم(دون تدفق معوض لأيونات البوتاسيوم K^+)أيونات البوتاسيوم(.

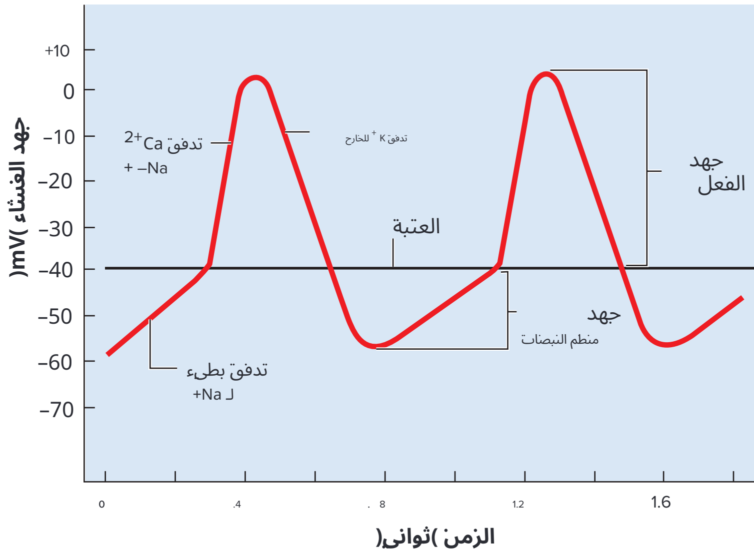
عندما يصل جهد منظم النبض إلى عتبة −40 مللى فولت، تفتح قنوات الكالسيوم ذات البوابات الكهربائية ويتدفق Ca^{2+} من السائل خارج الخلوى. هذا ينتج المرحلة الصاعدة)الاستقطابية(لجهد الفعل، ا لتى تبلغ ذروتها قليلاً فوق 0 مللى فولت. عند هذه النقطة، تفتح قنوا ت K^+ ويخرج K^+ من الخلية. هذا يجعل السيتوسول أكثر سلبية ويخ لق المرحلة الهابطة)إعادة الاستقطاب(لجهد الفعل. عند اكتمال إعادة الاستقطاب، تغلق قنوات K^+ ويبدأ جهد منظم النبض من جديد، فى طريقه لإنتاج نبضة القلب التالية. كل استقطاب لعقدة SA يطلق نب ضة قلب واحدة. عندما تنطلق عقدة SA، تحفز المكونات الأخرى فى نظام التوصيل؛ وبالتالى، تعمل عقدة SA كمنظم نبضات النظام. فى حالة الراحة، عادةً ما تنطلق كل 0.8 ثانية تقريبًا، مما يخلق معدل ضر بات قلب حوالى 75 نبضة فى الدقيقة.

[21] ec = خارج؛ top= مكان

عقدة AV حوالى 100 مللى ثانية—مثل تباطؤ حركة المرور على الطرق السريع فى بلدة صغيرة. هذا التأخير ضرورى لأنه يمنح البطينين وقتًا ليمتلئا بالدم قبل أن يبدأا فى الانقباض.

سرعة التوصيل فى عضلة البطين هى فقط من 0.3 إلى 0.5 م/ث. لو كان هذا هو الطريق الوحيد لانتقال الإشارة التحفيزية، لتم تحفيز بعض خلايا عضلة القلب قبل غيرها بكثير. لن يكون انقباض البطينين مترامنًا وستتأثر فعالية ضخ البطينين بشدة. لكن الإشارات تنتقل عبر حزمة AV والفروع تحت البطينية بسرعة 4 م/ث، وهى الأسرع فى نظام التوصيل، بسبب كثافة الوصلات الفجوية العالية جدًا فيها. ونتيجة لذلك، تستقطب عضلة البطين بأكملها خلال 200 مللى ثانية بعد إطلاق عقدة SA، مما يسبب انقباض البطينين بشكل شبه متزامن.

يبدأ الانقباض البطينى عند قمة القلب، التى تُحفز أولاً، ويتقدم صعودًا—دافعًا الدم نحو الصمامات الهلالية. بسبب الترتيب الحلزونى لدوامة القلب، يلتف البطينان قليلاً أثناء انقباضهما، مثل شخص يعصر منشفة.



الشكل 19.13 جهود منظم النبضات وجهود الفعل لعقدة الجيب الأذينى.

▶▶▶ طبق ما تعرفه

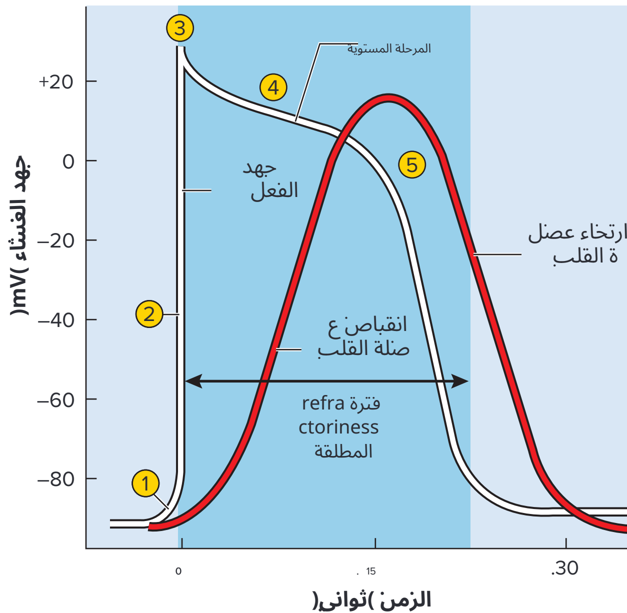
بعض الأشخاص لديهم حبال أو جسور غير طبيعية من عضلة القلب تمتد من الأذين إلى البطين، متجاوزة العقدة الأذينية البطينية وأجزاء أخرى من نظام التوصيل.
كيف تتوقع أن يؤثر هذا على إيقاع القلب؟
كيف قد يعالج جراح القلب ذلك؟

19.4c توصيل النبض إلى عضلة القلب

إطلاق عقدة SA يحفز خلايا عضلة الأذين ويحفز الأذينين على الانقباض تقريبًا فى نفس الوقت. تنتقل الإشارة بسرعة حوالى متر واحد فى الثانية)م/ث(عبر عضلة الأذين وتصل إلى عقدة AV فى حوالى 50 مللى ثانية)مللى ثانية(. فى عقدة AV، تبطئ الإشارة إلى حوالى 0.05 م/ث، جزئيًا لأن خلايا عضلة القلب هنا أرق، ولكن الأهم لأنها تحتوى على عدد أقل من الوصلات الفجوية التى يمكن للإشارة أن تنتقل عبرها. هذا يؤخر الإشارة فى

19.4د السلوك الكهربائى لعضلة القلب

جهود الفعل لخلايا عضلة القلب تختلف بشكل كبير عن تلك الخاصة بالخلايا العصبية وألياف العضلات الهيكلية)الشكل 19.14(.



1 تفتح قنوات Na^+ ذات الجهد الكهربائى.

2 تدفق Na^+ يزيل استقطاب الغشاء ويحفز فتح المزيد من قنوات Na^+، مُنشئًا دورة تغذية راجعة إيجابية وفولتية غشاء ترتفع بسرعة.

3 تغلق قنوات Na^+ عندما يُزال استقطاب الخلية، وتبلغ الفولتية ذروتها عند حوالى +30 مللى فولت.

4 يدخل Ca^{2+} عبر قنوات Ca^{2+} البطيئة مُطيلاً إزالة استقطاب الغشاء، مُحدثًا مرحلة مستوية. تنخفض المرحلة المستوية قليلاً بسبب بعض تسرب K^+، لكن معظم قنوات K^+ تظل مغلقة حتى نهاية المرحلة المستوية.

5 تغلق قنوات Ca^{2+} ويتم نقل Ca^{2+} خارج الخلية. تُفتح قنوات K^+، ويتسبب التدفق السريع لـ K^+ فى إعادة الغشاء إلى جهد الراحة الخاص به.

الشكل 19.14 جهد الفعل وتوتر العضلة فى خلية عضلية بطينية للقلب. المنحنى الأبيض هو جهد الفعل. المنحنى الأحمر يمثل ارتفاع وانخفاض توتر العضلة مع انقباض واسترخاء عضلة القلب.

ما فائدة وجود فترة refractaire مطلقة طويلة كهذه فى عضلة القلب؟

العضلات الهيكلية، الشكل 11.15(، والتي كانت ستوقف عمل ضخ ا لقلب إذا حدثت.

▶▶▶ طبق ما تعرفه

فيما يتعلق بالأيونات المشاركة، كيف تختلف مرحلة الانخفاض)إ عادة الاستقطاب(في جهد فعل عضلة القلب عن جهد فعل الع صبون؟)انظر الشكل 12.14.(

19.4هـ تخطيط القلب الكهربائي

يمكننا الكشف عن التيارات الكهربائية في القلب بواسطة أقطاب كهر بائية)رؤوس(توضع على الجلد. جهاز يسمى مخطط القلب الكهربائ ي يقوم بتضخيم هذه الإشارات وينتج سجلًا، عادةً على ورقة متحركة، يسمى مخطط القلب الكهربائي **(ECG)**[22] أو**(EKG)** لتسجيل ECG، تُثبت الأقطاب عادةً على المعصمين والكاحلين وستة مواقع على ال صدر. يمكن إجراء تسجيلات متزامنة من أقطاب على مسافات مختل فة من القلب؛ مجتمعة، توفر صورة شاملة للنشاط الكهربائي للقلب. مخطط القلب الكهربائي هو تسجيل مركب لجميع جهود الفعل التي تنتجها خلايا العقدة والعضلة القلبية — ولا ينبغي تفسيره كخريطة لجه د فعل واحد فقط.

يوضح الشكل 19.15 مخطط القلب الكهربائي النموذجي ويوفر تفسيرًا وطيفيًا لمكوناته. يحتوي مخطط القلب الكهربائي على ثلاث ا نحرافات رئيسية فوق وتحت الخط الأساسي: *موجة P*، *مركب QRS* ، و *موجة T*.)تم اختيار هذه الحروف عشوائيًا؛ ولا تمثل أي كلمات.(يو ضح الشكل 19.16 كيف تتوافق هذه مع مناطق القلب التي تخضع لإزالة الاستقطاب وإعادة الاستقطاب.

تنتج موجة P عندما ينتشر إشارة من العقدة الجيبية الأذينية)SA(عبر الأذينين وتزيل استقطابهما. يبدأ الانقباض الأذيني بعد حوالي 100 مللي ثانية من بداية موجة P، خلال *مقطع PQ*. هذا المقطع طوله حوال ي 160 مللي ثانية ويمثل الوقت اللازم لانتقال النبضات من العقدة الح يبية الأذينية إلى العقدة الأذينية البطينية)AV(.

يتكون مركب QRS من انحراف صغير نحو الأسفل)Q(، وقمة ح ادة مرتفعة)R(، وانحراف نهائي نحو الأسفل)S(. ينتج عندما تنتشر الإ شارة من العقدة الأذينية البطينية عبر عضلة البطينين وتزيل استقطا ب العضلة. هذا هو الجزء الأكثر وضوحًا في مخطط القلب الكهربائي لأ نه ينتج بشكل رئيسي عن إزالة استقطاب البطينين، اللذين يشكلان أ كبر كتلة عضلية في القلب ويولدان أكبر تيار كهربائي. شكله المعقد نا تج عن اختلاف أحجام البطينين والأوقات المختلفة اللازمة لإزالة استق طابهما. يبدأ الانقباض البطيني بعد فترة وجيزة من مركب QRS، في *مقطع ST*. كما أن فترة QRS هي أيضًا وقت لإعادة استقطاب الأذين ين والارتخاء، لكن إعادة استقطاب الأذينين ترسل إشارة ضعيفة نس بيًا تغطيها النشاط الكهربائي للبطينين الأكثر عضلية.

[22] *إلكترون* = الكهرباء؛ *قلب* = القلب؛ *جرام* = تسجيل؛ الاختصار الشائع *EKG* يأتي من التهجئة الألمانية، *elektrokardiogramm*

يا عضلة القلب)الخلايا القلبية(بجهد راحة مستقر يبلغ −90 مللي فولت وعاد ةً ما تستقطب فقط عند التحفيز، على عكس خلايا العقدة الجيبية الأذينية)S A(. يفتح التحفيز القادم من الفروع تحت البطينية أو من ا لخلايا القلبية المجاورة قنوات الصوديوم ذات الجهد الكهربائي في غشاء الخلي ة، مما يسمح بتدفق Na^+ إلى الداخل واستقطاب الخلية إلى عتبة الجهد. عند العتبة، تفتح العديد من قنوات Na^+ فجأة، مما يسمح بتدفق Na^+ أسرع بكث ير يستقطب الخلية بسرعة—وهو ما يُرى في الارتفاع السريع في جهد الغشاء في المرحلة 2 من الشكل 19.14. هذه دورة تغذية راجعة إيجابية تشبه تلك الم شاركة في إطلاق العصبونات—تدفق Na^+ يفتح المزيد من قنوات Na^+، مما يسمح بمزيد من تدفق Na^+ الذي يفتح المزيد من القنوات. هذا يوضح النقط ة التي ذُكرت في الفصل 1 بأن التغذية الراجعة الإيجابية غالبًا ما تكون وسيلة لإحداث تغييرات سريعة وضرورية. مع وصول الجهد إلى قيم موجبة)يصبح دا خل الغشاء موجبًا بالنسبة للخارج(، تُغلق قنوات Na^+ بسرعة. وبحلول الوقت الذي تُغلق فيه جميع القنوات، يصل الجهد إلى ذروته عند +35 مللي فولت)ا لنقطة 3 في الشكل(.

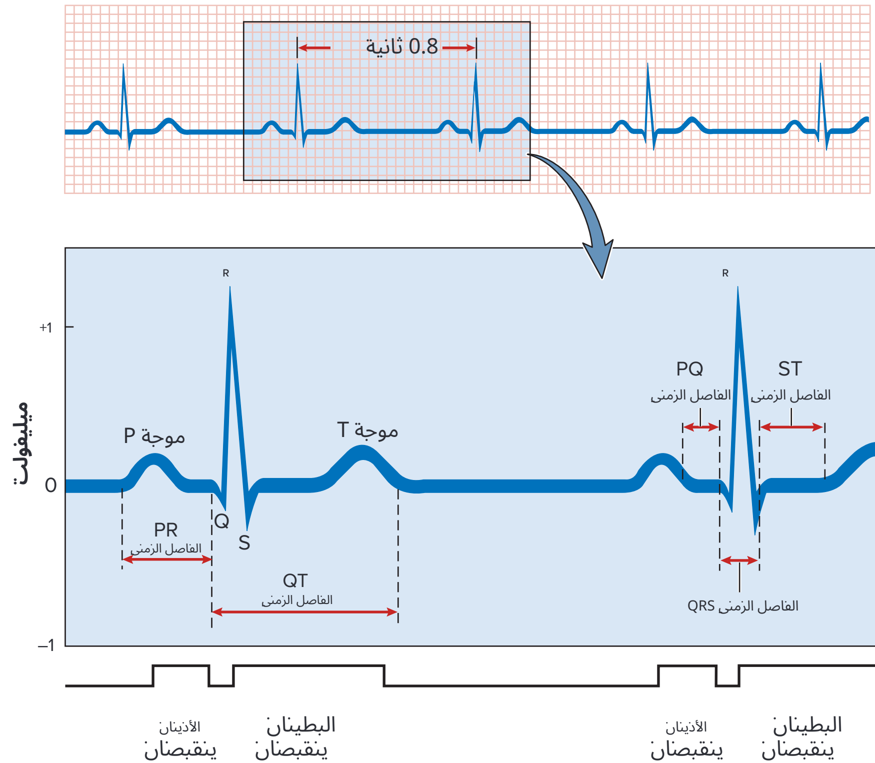
عند تلك الذروة، تفتح قنوات K^+ ذات الجهد الكهربائي ويخرج الق ليل من البوتاسيوم من الخلية، مما يسبب انخفاضًا مفاجئًا لكنه قص ير الأمد في الجهد. ومع ذلك، تفتح أيضًا قنوات الكالسيوم البطيئة و تسمح بدخول Ca^{2+}إلى الخلية. هذا يتغلب على تدفق K^+ الخارج ويحا فظ على الجانب الداخلي من الغشاء موجبًا لفترة طويلة، وهو المرحلة المستوية في المرحلة 4 من الشكل. يدخل الكالسيوم من السائل خار ج الخلية، ويرتبط في البداية بقنوات الكالسيوم ذات البوابات المرتبط ة بالليجند في الشبكة الساركوبلازمية، مما يجعلها تفتح فجأة وتطلق كمية أكبر بكثير من Ca^{2+} المخزن في السيتوسول. هذا يطيل المرحلة المستوية. في العضلات الهيكلية والعصبونات، يعود جهد الفعل إلى جهد الراحة خلال 2 مللي ثانية. أما في عضلة القلب، فإن هذا التدفق ا لكبير من الكالسيوم)وبعض تدفق الصوديوم(يحافظ على استقطاب ا لخلايا لفترة أطول بمئة مرة على الأقل—من 200 إلى 250 مللي ثانية)عند معدل ضربات قلب 70–80 نبضة في الدقيقة(—مع انخفاض ب طيء في جهد الغشاء كما هو موضح في الرسم البياني.

حوالي 150 مللي ثانية بعد بدء العملية، عند الكتف الذي ينهي مر حلة الهضبة)النقطة 5 في الرسم البياني(، يصل جهد الغشاء الذي ينخ فض ببطء إلى 0 مللي فولت، تُغلق قنوات الكالسيوم، وتفتح العديد م ن قنوات البوتاسيوم فجأة. يتوقف تدفق Ca^{2+}، في حين يؤدي تدفق K^+ السريع الآن إلى انخفاض جهد الغشاء بسرعة إلى نقطة البداية، وه ي جهد الغشاء الراحة بحوالي −90 مللي فولت.

بينما يشكل الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم جميعًا الشكل وا لمسار الزمني للأحداث الكهربائية في عضلة القلب)العضلة القلبية(، فإن الكالسيوم هو العامل الرئيسي الذي يحفز انقباض العضلة. يرتبط بالكروبونين ويحفز الانقباض هنا بنفس الطريقة التي يحدث بها في العضلات الهيكلية)انظر الأقسام 11.4ب–ح(. يتأخر الانقباض قل يلاً عن إزالة الاستقطاب الكهربائية، لذا كما يظهر منحنى التوتر في ال شكل 19.14، يصل توتر العضلة إلى ذروته بعد حوالي 150 مللي ثانية من ذروة جهد الفعل. يبدأ في الانخفاض عند نهاية الهضبة الكهربائية ويعود إلى الاسترخاء الأساسي عند حوالي 300 مللي ثانية.

تمتلك عضلة القلب فترة refractaire مطلقة تبلغ 250 مللي ثانية ، مقارنةً بـ 1 إلى 2 مللي ثانية في العضلات الهيكلية. تمنع هذه الفترة ا لطويلة من refractaire تراكم الموجات والتشنج المستمر)على عكس

تفسير تخطيط القلب الكهربائى	
إزالة الاستقطاب الأذينى	موجة P
مركب QRS إزالة استقطاب البطين	
إعادة استقطاب البطين	موجة T
انتقال الإشارة عبر العقدة الأذينية البطينية)AV(، قبل تنشيط البطينين	فاصل PR
مدة إزالة الاستقطاب فى البطين؛ أقصرأثناء التمر ين.	فاصل QT مدة البطين
إعادة استقطاب الأذين والانبساط؛ إعادة الاستقطاب مخفية بواسطة موجة QRS.	الفاصل الزمنى QRS
انتقال الإشارة من العقدة الجيبية الأذينية)SA(إلى العقدة الأذينية البطينية)AV(؛ يبدأ الانقباض الأذينى.	مقطع PQ
انقباض البطين وطرد الدم؛ يتوافق مع هصنبة جهد فعل خلايا عصلة القلب.	مقطع ST انقباض البطين وطرد الدم



الشكل 19.15 الرسم الكهربائى الطبيعى للقلب.

أى انحراف عن إيقاع الجيب الطبيعى الذى يقوده العقدة الجيبية ا لأذينية)SA node(يسمى اضطراب النظم)انظر التعمق 19.2(. أكثر هذه الاضطرابات شهرة وخوفًا هو الرجفان البطينى،[23] وهو العلامة المميزة للنوبة القلبية)احتشاء عضلة القلب(. تحدث معظم الحالات لدى المرضى الذين لديهم تاريخ من مرض الشريان التاجى. على النقيض الواضح للإيقاع الجيبى المنتظم، يطهر تخطيط القلب ضعفًا وفوضى فى استقطاب البطينين)قارن الشكل 19.17أ، ب(. ح يث تنتقل الإشارات الكهربائية عشوائيًا عبر عضلة القلب وتعود لتح فز نفس المنطقة مرارًا بدلاً من أن تنطفئ كما فى الاستقطاب البطين ى الطبيعى. بالنسبة لجراح القلب، يظهر البطين الرجفانى تقلصات م تشنجة وغير منسقة توصف غالبًا بأنها تشبه "كيس من الديدان". لا يضخ البطين الرجفانى الدم، لذلك لا يوجد تدفق دم تاجى وتموت أن سجة عضلة القلب بسرعة بسبب نقص التروية)تدفق الدم غير الكاف ى(، وكذلك أنسجة الدماغ. *توقف القلب* هو توقف النتاج القلبى، حي ث يكون البطينان إما ساكنين أو فى حالة رجفان.

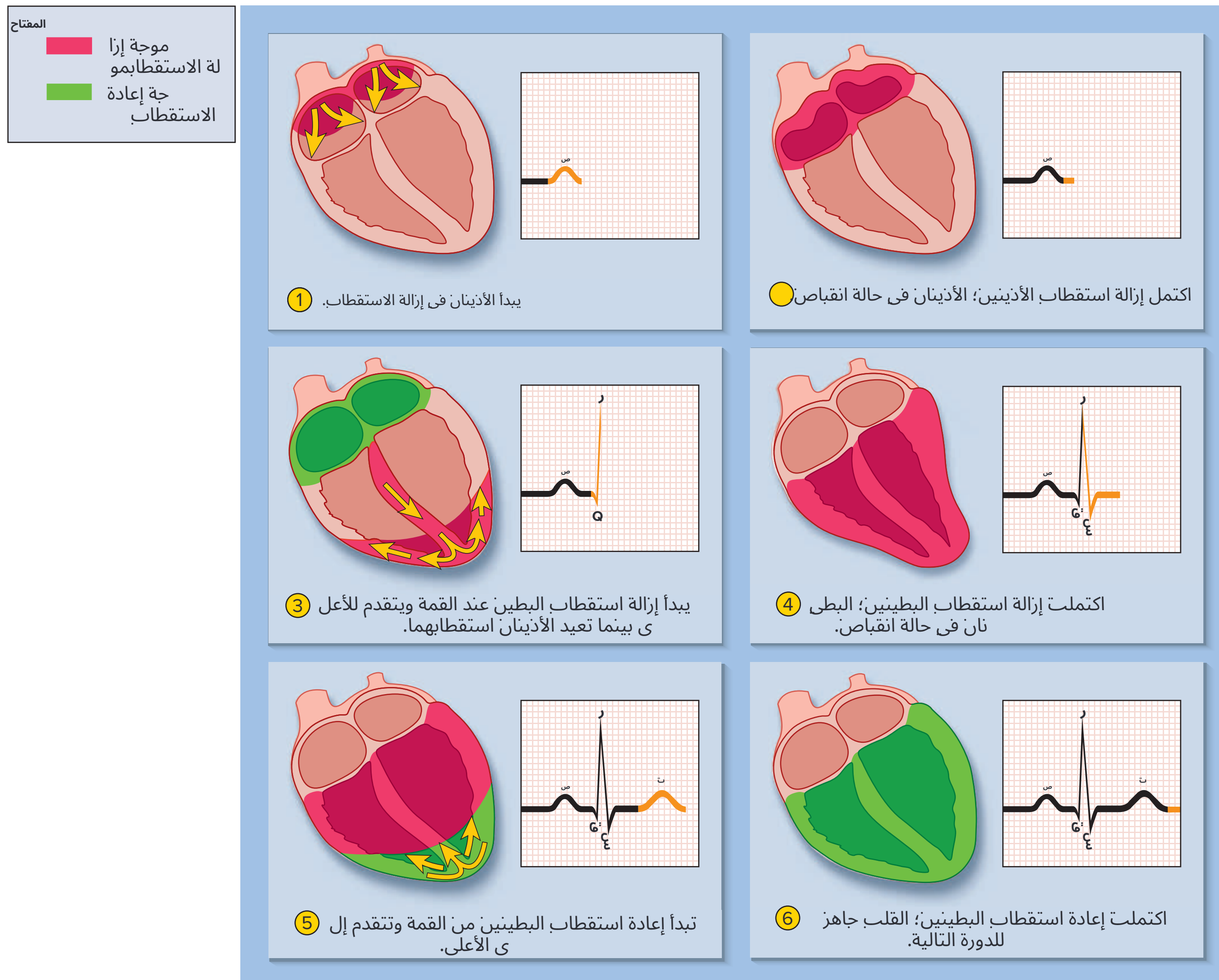
الرجفان يقتل بسرعة إذا لم يتم إيقافه. *إزالة الرجفان الكهربائى* هى إجراء طارئ يُعطى فيه القلب صدمة كهربائية قوية بواسطة زوج م ن أقطاب المجداف. الهدف هو استقطاب عضلة القلب بالكامل وإيقا ف الرجفان، على أمل أن تستأنف العقدة الجيبية الأذينية إيقاعها الح يبى.

يمثل فترة PR الوقت الذى يستغرقه الإشارة للمرور عبر العقدة ا لأذينية البطينية)AV(قبل تنشيط البطينين. لا تمتد هذه الفترة حتى موجة R لأن استجابة البطين تبدأ عند Q. لذلك يمكن أن تشير الشذوذ ات فى هذه الفترة إلى عيوب تؤثر على زمن التوصيل. تشير فترة QT إ لى المدة التى تبقى فيها البطينات مستقطبة، وتتوافق تقريبًا مع مدة جهد فعل خلية عضلة القلب)cardiomyocyte(. تصبح أقصر أثناء ا لتمرين. يتوافق مقطع ST مع الهصنبة فى جهد فعل عضلة القلب وبا لتالى يمثل الوقت الذى تنقبض فيه البطينات وتضخ الدم.

تُولد موجة **T wave** بواسطة إعادة استقطاب البطينين مباشرة ق بل الانبساط. تستغرق البطينات وقتًا أطول لإعادة الاستقطاب مقارنة بالاستقطاب؛ لذلك تكون موجة T أصغر وأكثر انتشارًا من مركب QR S، ولها قمة أكثر استدارة. حتى عندما تكون موجة T أطول من مركب QRS، يمكن التعرف عليها من خلال قمتها المستديرة نس بيًا.

يوفر تخطيط القلب الكهربائى)ECG(ثروة من المعلومات حول ا لنشاط الكهربائى الطبيعى للقلب. الانحرافات عن الطبيعى — مثل ال موجات المتضخمة، المقلوبة، أو المشوهة والفترات الزمنية غير الط بيعية بين الموجات — لها قيمة كبيرة فى تشخيص الشذوذات فى م سارات التوصيل، احتشاء عضلة القلب، تضخم القلب، واضطرابات توازن الكهارل والهرمونات، من بين اضطرابات أخرى.

[23] ليف دقيق = ألياف صغيرة؛ *ation* = فعل، عملية



الشكل 19.16 علاقة تخطيط القلب الكهربائى (ECG) بالنشاط الكهربائى وانقباض عضلة القلب. يشير كل رسم للقلب إلى الأحداث التى تحدث فى و قت الجزء الملون من تخطيط القلب. اللون الأحمر يدل على عضلة القلب التى تمر بعملية إزالة الاستقطاب أو التى أزيل استقطابها، واللون الأخضر يدل ع لى عضلة القلب التى تمر بعملية إعادة الاستقطاب أو التى أعيد استقطابها. تشير الأسهم إلى الاتجاه الذى تتحرك فيه موجة إزالة الاستقطاب أو إعادة الاستقط اب. APR

لا يصحح السبب الأساسى للرجفان، لكنه قد يحافظ على حياة المري ض لفترة كافية للسماح باتخاذ إجراءات تصحيحية أخرى.

ل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

14. عرف الانقباض والانبساط.

15. كيف يختلف جهد المنظم القلبى لعقدة الجيب الأذينى عن جهد الراحة لغشاء الخلية العصبية؟ ولماذا هذا مهم فى خلق إيقاع القلب؟

16. لماذا من المهم أن تبطئ عقدة الأذينى البطينى انتقال الإشارة إلى البطينين؟

17. كيف يشبه اقتران الإثارة-الانقباض فى عضلة القلب ذلك ا لموجود فى العضلات الهيكلية؟ وما الفرق بينهما؟

18. ما الذى يُنتج الهضبة فى جهد الفعل لخلايا عضلة القلب؟ ولم اذا هذا مهم لقدرة القلب على الضخ؟

19. حدد الجزء من تخطيط القلب الكهربائى (ECG) الذى يتزامن مع كل من الأحداث التالية: إزالة استقطاب الأذينين، انقباض الأذينين، إعادة ا ستقطاب الأذينين، إزالة استقطاب البطينين، انقباض البطينين، إعاد ة استقطاب البطينين، واسترخاء البطينين.



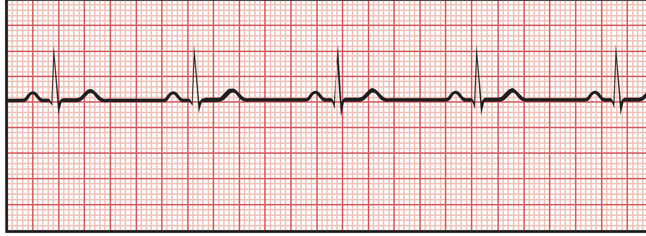
نظرة أعمق 19.2

التطبيق السريرى

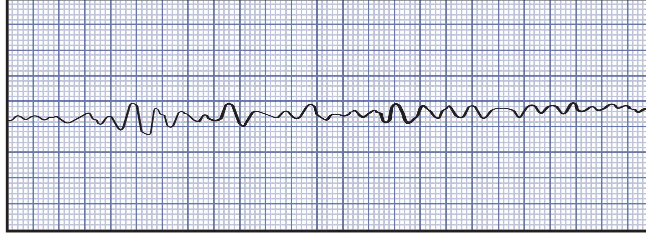
اضطرابات نظم القلب

الرجفان البطينى)VF، VFib( )الشكل 19.17ب(، الذى تم وصفه سابقًا، هو أكثر ا
ضطرابات النظم شهرة، لكن غيره من الاضطرابات ليست نادرة. الرجفان الأذينى
)AF، AFib( )الشكل 19.17ح(هو انقباض تموجى ضعيف فى الأذينين، يظهر
فى تخطيط القلب الكهربائى كموجات إزالة استقطاب فوضوية وعالية التردد)400
–650/دقيقة(. تفشل الأذينات الرجفانية فى تحفيز البطينين، لذا نرى انفصالًا بين
إزالة الاستقطاب العشوائية فى الأذينات وموجات QRS وT البطينية فى تخطيط ا
لقلب. هذا هو أكثر اضطرابات نظم الأذين شيوعًا لدى كبار السن. يمكن أن ينتج ع
ن أسباب مثل أمراض الصمامات، فرط هرمون الغدة الدرقية، أو التهاب عضلة ال
قلب، وغالبًا ما يُرى فى حالات إدمان الكحول. يستمر تدفق الدم عبر الأذينين إلى ا
لبطينين حتى أثناء الرجفان الأذينى، لذا فإن الرجفان الأذينى ليس مهددًا للحياة ع
لى الفور.
مع ذلك، يكون تدفق الدم أبطأ، وهناك خطر أكبر لتكون جلطات دموية تسبب الان
صمام الرئوى أو السكتة الدماغية.
انسداد القلب هو فشل أى جزء من نظام التوصيل القلبى فى نقل الإشارات،
عادة نتيجة مرض وتدهور ألياف نظام التوصيل. فى تخطيط القلب، يُرى موجات P
أذينية إيقاعية، لكن البطينين يفشلان فى استقبال الإشارة ولا تتبع موجة QRS م
وجة P)كما فى الموجتين الثانية والثالثة من P فى الشكل 19.17د(. انسداد فرع ا
لحزمة هو انسداد قلبى ناتج عن تلف أحد فرعى حزمة AV أو كلاهما. يسبب تلف
عقدة AV انسدادًا قلبيًا كاملًا، حيث تفشل الإشارات من الأذينين فى الوصول إلى
البطينين تمامًا، وينبض البطينان بإيقاعهما الذاتى بين 20 إلى 40 نبضة فى الدق
يقة.

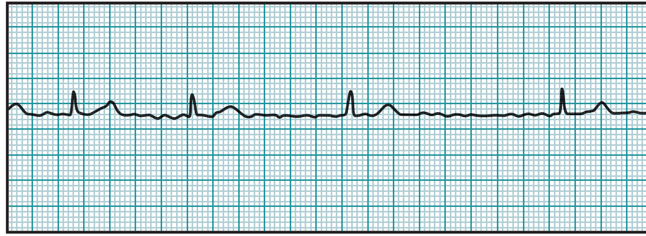
الانقباض البطينى المبكر)PVC(هو نتيجة لإطلاق بؤرة بطينية خارجية النبض
وتوليد نبضة إضافية)انقباض إضافى(قبل وصول الإشارة الطبيعية من العقدة ا
لجيبية الأذينية. موجة P مفقودة وموجة QRS مقلوبة ومشوهة)انظر السهم فى ا
لشكل 19.17هـ(. يمكن أن تحدث الانقباضات البطينية المبكرة بشكل منفرد أو
فى دفعات. نبضة إضافية عرضية ليست خطيرة، وقد تنتج عن التوتر العاطفى، ق
لة النوم، أو تهيج القلب بواسطة المنشطات)النيكوتين، الكافيين(. ومع ذلك، يم
كن أن تشير الانقباضات البطينية المبكرة المستمرة إلى أمراض أكثر خطورة وأحيا
نًا تؤدى إلى الرجفان البطينى والموت المفاجئ.



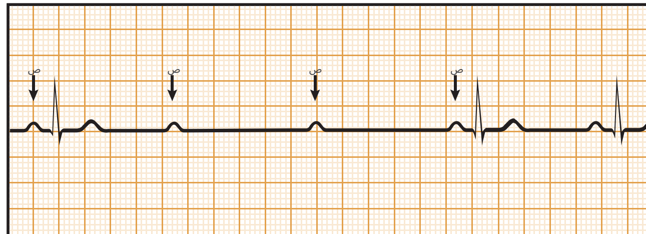
)أ(إيقاع الجيب)طبيعى(



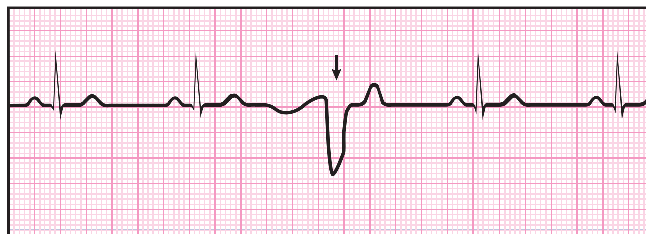
)ب(الرجفان البطينى



)ح(الرجفان الأذينى



)د(انسداد القلب



)هـ(انقباض بطينى مبكر

الشكل 19.17 مخططات القلب الكهربائية الطبيعية والمرضية.)أ(نظم الجيب الطبيعى.)ب(الرجفان البطينى، مع موجات إزالة الاستقطاب غير المنتظمة بشكل كبير، كما يُرى فى نوبة قلبية)احتشاء عضلة القلب(.)ح(الرجفان الأذينى؛ بين ضربات القلب، تظهر الأذينات إزالة استقطاب ضعيفة وفوضوية وعالية التردد بدلًا من موجات P الطبيعية.)د(انسداد القلب، حيث لا تُنقل بعض إزالة استقطاب الأذين)موجات P(إلى البطينين ولا تتبعها موجات QRS البطينية.)هـ(انقباض بطينى مبكر، أو انقباض إضافى)عند السهم(؛ لاحظ غياب موجة P، وتعقيد QRS المقلوب، وتشوه موجة QRS وارتفاع موجة T.

19.5 تدفق الدم، أصوات القلب، ودورة القلب

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. شرح سبب التعبير عن ضغط الدم بوحدة مليمتر زئبق؛

ب. وصف كيفية تأثير تغيرات ضغط الدم على صمامات القلب؛

ح. شرح ما الذى يسبب أصوات نبضات القلب؛

د. وصف تفصيلى لدورة كاملة من انقباض واسترخاء القلب؛ و

هـ. ربط أحداث دورة القلب بحجم الدم الداخل والخارج من القلب.

تتكون دورة القلب من انقباض واسترخاء كاملين لجميع غرف القلب ا
لأربع. سنقوم بفحص هذه الأحداث بالتفصيل لنرى كيف ترتبط بدخو
ل وطرد الدم،

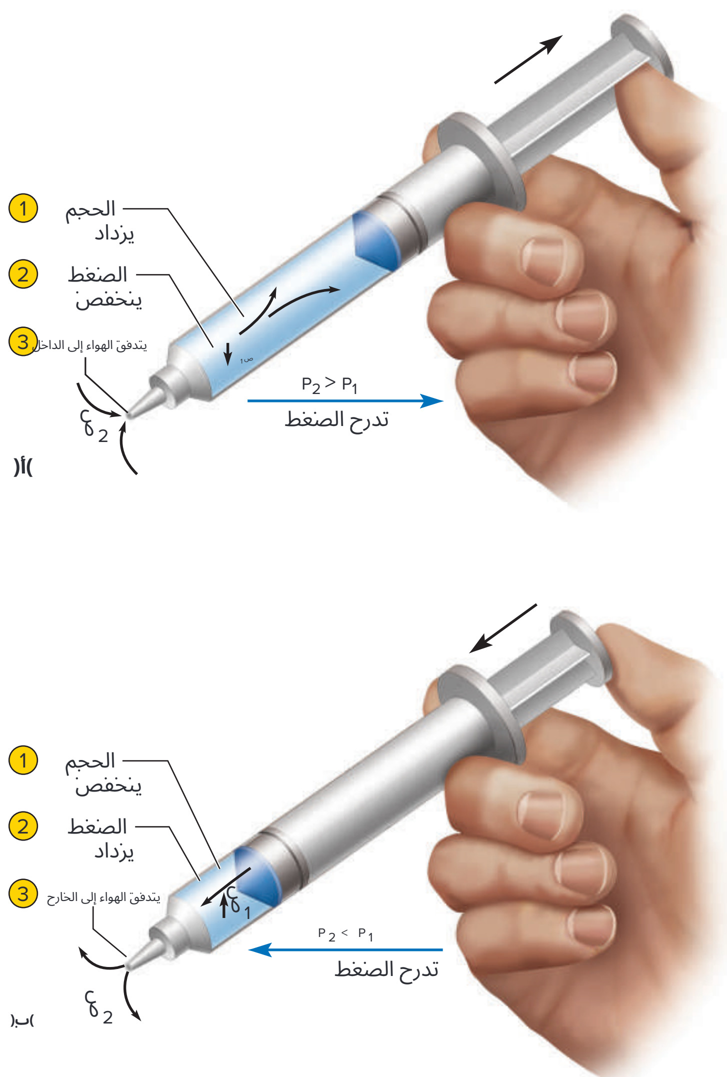
نناقشُ قصتيتين مرتبطتين:)1(بعض المبادئ العامة لتغيرات الضغط وكيف تؤثر على تدفق الدم، و)2(أصوات القلب التى تُنتج خلال دورة القلب، والتى يمكننا ربطها بمراحل الدورة.

٥.٩١أ مبادئ الضغط والتدفق

السائل هو أى حالة من حالات المادة التى يمكنها التدفق بكميات كبيرة من مكان إلى آخر. فى الجسم، يشمل هذا كل من السوائل والغازات—الدم، اللمف، الهواء، والبول، من بين أمور أخرى. تنطبق بعض المبادئ الأساسية لحركة السوائل)*ديناميكا السوائل*(على كل هذه. على وجه الخصوص، يتحكم فى التدفق متغيران رئيسيان: الضغط، الذى يدفع السائل للتحرك، و المقاومة، التى تعارض التدفق. فى هذا الفصل، سنركز على كيفية تغيرات الضغط التى تتحكم فى عمل صمامات القلب، ودخول الدم إلى حجرات القلب، وطرده إلى الشرايين.
فى الفصل التالى، سنبحث أدوار الضغط والمقاومة فى تدفق الدم عبر الأوعية الدموية، ولاحقًا فى الكتاب، سنطبق نفس المبادئ على تدفق الهواء التنفسى. تدفق الدم والهواء عبر تدرجات الضغط الخاصة بهما هما تطبيقان للمبدأ العام للتدرجات والتدفق الموضح فى القسم ٦.١هـ.

قياس الضغط

يُقاس الضغط عادةً بجهاز يسمى *مقياس الضغط*. فى أبسط أشكاله ، يكون عادةً أنبوب زجاجي على شكلU مملوء جزئيًا بالزئبق. الطرف العلوى المختوم، فوق الزئبق، يحتوى على فراغ، بينما الطرف السفلى مفتوح. يُقاس الضغط المطبق عند الطرف السفلى بمدى ارتفاعه فى دفع عمود الزئبق إلى الطرف المفرغ من الأنبوب. من حيث المبدأ، يمكن استخدام أى سائل، لكن يُستخدم الزئبق بسبب كثافته العالية؛ فهو يمكننا من قياس الضغط بأعمدة أقصر مما نحتاجه مع سائل أقل كثافة مثل الماء. لذلك، يُعبر عن الضغوط عادةً بوحدات مليمتر زئبق)مم زئبق(. يُقاس ضغط الدم، على وجه الخصوص، تقليديًا باستخدام مقياس ضغط الدم[24] (SFIG-mo-ma-NOM-eh-tur)—وهو مقياس زئبقى معاير مع طرفه السفلى المفتوح \مرتبط بكفة ضغط قابلة للنفخ تُلف حول الذراع)على الرغم من أن مقاييس ضغط الدم الزئبقية تم استبدالها تدريجيًا بأجهزة ذات قرص وأجهزة رقمية(. يناقشُ ضغط الدم وطريقة قياسه بمزيد من التفصيل فى القسم ٢٠.٢أ.



الشكل 19.18 مبادئ الحجم والضغط والتدفق موضحة باستخدام محقنة.)أ(عند سحب المكبس إلى الخلف، يزداد حجم الفراغ المحصور، وينخفض ضغطه، ويكون الضغط داخل المحقنة)P1(أقل من الضغط الخارجى)P2(يسبب تدرج الضغط تدفق الهواء إلى الداخل حتى تتساوى الضغوط. هذا يشبه ملء حجرة القلب المتوسعة.)ب(عند دفع المكبس للأسفل، ينخفض حجم الفراغ المحصور، ويرتفع P1 فوق P2، ويتدفق الهواء إلى الخارج حتى تتساوى الضغوط. هذا يشبه طرد الدم من حجرة القلب المنقبضة. فى كلتا الحالتين، تتدفق السوائل نزولاً على تدرجات الضغط الخاصة بها.

تدرجات الضغط والتدفق

يتدفق السائل فقط إذا تعرض لضغط أعلى فى نقطة معينة مقارنة بنقطة أخرى. هذا الفرق يخلق تدرجًا فى الضغط، والسوائل دائمًا تتدفق باتجاه تدرجات الضغط، من نقطة الضغط العالى إلى نقطة الضغط المنخفض. قبل أن نربط هذا بتدفق الدم، قد يكون من الأسهل البدء بتشبيه—محقنة مملوءة بالهواء)الشكل ١٩.١٨(.

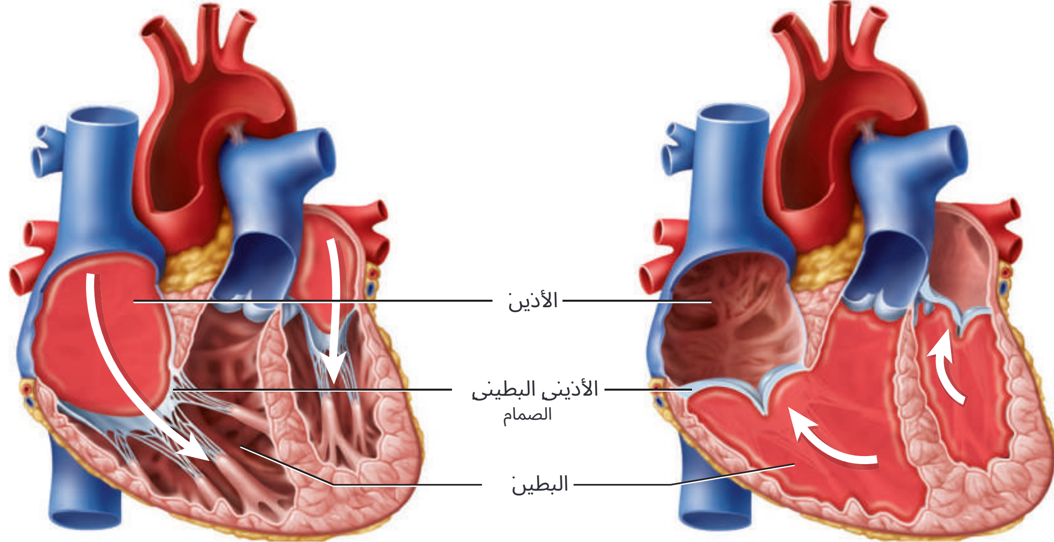
فى حالة السكون، تكون ضغوط الهواء داخل أسطوانة المحقنة و فى الغلاف الجوى المحيط بها متساوية. ولكن بالنسبة لكمية معينة)كتلة(من الهواء، وبافتراض ثبات درجة الحرارة، يكون الضغط عكسيًا مع حجم الحاوية—كلما زاد الحجم، انخفض الضغط، والعكس صحيح. افترض أنك تسحب المكبس للخلف فى المحقنة)الشكل ١٩.١٨أ(. هذا يزيد الحجم وبالتالى يخفض ضغط الهواء داخل الأسطوانة. الآن لديك تدرج فى الضغط، مع ضغط أعلى خارج المحقنة كونه أكبر من الضغط الداخلى. سيتدفق الهواء نزولاً على تدرجه إلى داخل المحقنة حتى يتساوى الضغطان. إذا دفعت المكبس بعد ذلك)الشكل 19.18ب(، سيرتفع الضغط داخل الأسطوانة فوق الضغط الخارجى، وسيتدفق الهواء خارجاً - مرة أخرى نزولاً على تدرج الضغط ولكن فى الاتجاه المعاكس.
أسطوانة المحقنة تشبه حجرة القلب مثل البطين الأيسر. عندما يتمدد البطين، ينخفض ضغطه الداخلى. إذا كان صمام الأذين والبطين مفتوحاً، يتدفق الدم إلى البطين من الأذين أعلاه. عندما ينقبض البطين، يرتفع ضغطه الداخلى. عندما يفتح الصمام الأورطى، يُطرد الدم من البطين إلى الأبهر.

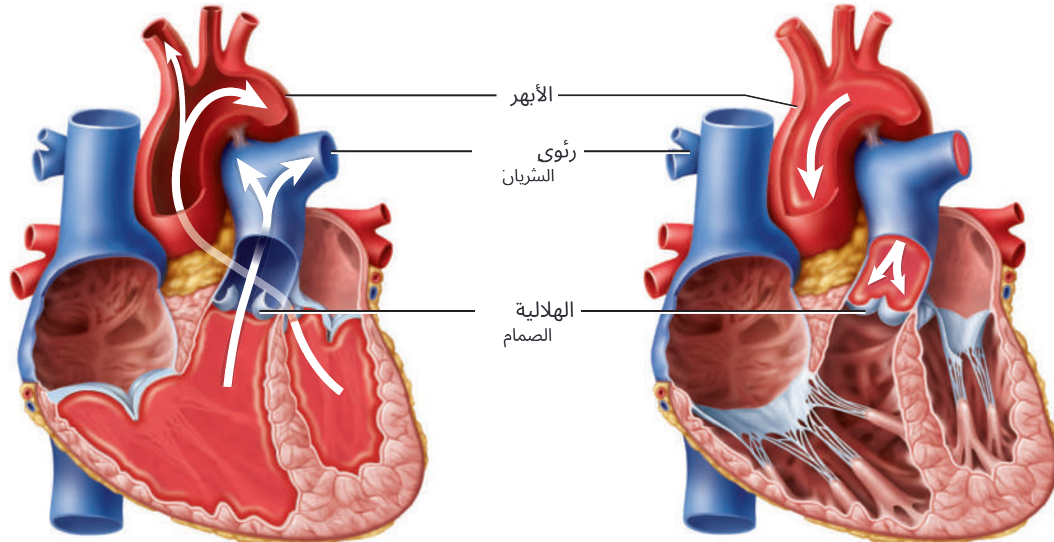
[24]*سفيغمو* = نبض؛ *مانو* = نادر، متفرق، واسع؛ *ميتر* = جهاز قياس

عندما تنقبض، يرتفع ضغطها الداخلى بشكل حاد ويدفع الدم ضد صمامات الأذين البطينى من الأسفل. هذا يدفع الشرفات معًا، يُغلق الفتحات، ويمنع الدم من التدفق مرة أخرى إلى الأذينين. تنقبض العضلات الحليمية قليلاً قبل بقية عضلة البطين وتشد على الأوتار الوترية، مما يمنع الصمامات من الانتفاخ بشكل مفرط)الهبوط(إلى الأذينين أو الانقلاب مثل المظلات التى تهبها الرياح.)انظر *صمام الميترال* تدلى فى نظرة أعمق 19.3.(يزداد الضغط فى البطينين ويؤثر أيضًا على صمامات الأبهر والرئتين. حتى نقطة معينة، يعارض الضغط فى الأبهر والجذع الرئوى فتح الصمامات، ولكن عندما يرتفع ضغط البطين فوق ضغط الشرايين، فإنه يدفع الصمامات للفتح ويتم ضخ الدم من القلب)الشكل 19.19ب(. ثم عندما يسترخى البطينان مرة أخرى وينخفض ضغطهما إلى ما دون ضغط الشرايين، يتدفق الدم الشريانى لفترة وجيزة إلى الخلف ويملأ جيوب الصمامات الهلالية. تلتقى الثلاثة جيوب فى وسط ... العودة إلى القلب.

فتح وإغلاق صمامات القلب يتحكمان بهذه التغيرات فى الضغط. تذكر أن الصمامات هى مجرد سُرَف ناعمة من النسيج الضام بدون عضلات. فهى لا تبذل أى جهد من تلقاء نفسها، بل تُدفع بشكل سلبى للفتح والإغلاق بفعل التغيرات فى ضغط الدم على الجانبين الأمامى و الخلفى للصمام.

عندما تكون البطينات مسترخية وضغطها منخفض، تتدلى سُرَف صمام الأذينين والبطينين)AV(بشكل مترهل وتكون كلا الصمامين مفتوحين)الشكل 19.19أ(. يتدفق الدم بحرية من الأذينين إلى البطينات حتى قبل انقباض الأذينين. مع امتلاء البطينات بالدم، ترتفع السُرَف نحو وضع الإغلاق. عندما تكون البطينات





الشكل 19.19 عمل صمامات القلب. هذه مرتبطة بأصوات القلب الموضحة فى القسم 19.5ب.)أ(صمامات الأذينين والبطينين. عندما يكون ضغط الأذين أكبر من ضغط البطين، يفتح الصمام ويتدفق الدم من خلاله)الأسهم البيضاء(. عندما يرتفع ضغط البطين فوق ضغط الأذين، يدفع الدم فى البطين سُرَف الصمام للإغلاق.)ب(الصمامات الهلالية. عندما يكون الضغط فى البطينين أكبر من الضغط فى الشرايين الكبرى، تُجبر الصمامات الهلالية على الفتح ويتم قذف الدم. عندما يكون ضغط البطين أقل من ضغط الشريان، يحافظ الدم الشريانى على إغلاق هذه الصمامات.

ما الدور الذى تلعبه الأوتار الوترية؟

تعمل بصمت، لكن S1 و S2 تحدثان بالتزامن مع إغلاق الصمامات نتيجة للاضطراب في تدفق الدم وحركات جدار القلب.

19.5ج مراحل دورة القلب

نستعرض الآن مراحل دورة القلب، والتغيرات في الضغط التي تحدث، وكيف تتحكم هذه التغيرات والصمامات في تدفق الدم. وضع عالم فسيولوجيا القلب والأوعية الدموية كارل ج. ويجرز (1883–1963) مخططًا غنيًا بالمعلومات، يُعرف الآن باسم *مخطط ويجرز* (الشكل 19.20)، لعرض الأحداث الرئيسية التي تحدث في نفس اللحظة خلال دورة القلب. هنا، تم تقسيمه إلى أشرطة ملونة ومرقمة لتتوافق مع المراحل التالية. تابع الشكل عن كثب أثناء دراسة النص. مكان البدء في وصف سلسلة دائرية من الأحداث أمر اعتباطي إلى حد ما، ولكن في هذا العرض، نبدأ بملء البطينين. تذكر أن كل هذه الأحداث تتم في أقل من ثانية واحدة.

1. ملء البطين. خلال الانبساط، يتمدد البطينان وينخفض ضغطهما إلى ما دون ضغط الأذينين. نتيجة لذلك، تفتح صمامات الأذين والبطين ويتدفق الدم إلى البطينين، مما يرفع ضغط البطين ويخفض ضغط الأذين.
يحدث ملء البطين في ثلاث مراحل: (1أ) الثلث الأول هو *الملء السريع للبطين*، حيث يدخل الدم بسرعة خاصة. (1ب) الثلث الثاني، المسمى *الانبساط الثانوي* (di-ASS-tuh-sis)، يتميز بالملء الأبطأ. تحدث موجة P في تخطيط القلب الكهربائي في نهاية الانبساط الثانوي، مما يشير إلى إزالة الاستقطاب في الأذينين. (1ج) في الثلث الأخير، *الانقباض الأذيني* يكمل عملية الملء. ينقبض الأذين الأيمن قليلاً قبل الأيسر لأنه أول من يستقبل الإشارة من العقدة الجيبية الأذينية. في نهاية ملء البطين، يحتوي كل بطين على حوالي 130 مل من الدم، وهو ما يسمى بحجم نهاية الانبساط (EDV). يساهم الانقباض الأذيني فقط بـ 40 مل (31%) من هذا الحجم.

2. الانقباض متساوي الحجم. يعيد الأذينان استقطابهما، ويرتاحان، ويظلان في حالة انبساط لبقية دورة القلب.
يتم إزالة استقطاب البطينين، وينتج مركب QRS، ويبدآن في الانقباض. تشير الموجة Q إلى نهاية ملء البطين؛ وتشير R إلى الانتقال من الانقباض الأذيني إلى الانقباض متساوي الحجم للبطينين؛ وتحدث S خلال الانقباض متساوي الحجم. يرتفع الضغط في البطينين بشكل حاد ويعكس تدرج الضغط بين الأذينين والبطينين. تغلق صمامات الأذين والبطين مع تدفق الدم العكسي ضد الشرفات. يحدث الصوت القلبي S1 في بداية هذه المرحلة وينتج بشكل رئيسي عن البطين الأيسر؛ ويعتقد أن البطين الأيمن يساهم بشكل ضئيل. يُعتقد أن أسباب الصوت تشمل توتر أنسجة البطين والأوتار الوترية (مثل صوت شد مفاجئ لشريط مطاطي)، اضطراب الدم أثناء تدفقه ضد صمامات الأذين والبطين المغلقة، وتأثير القلب على جدار الصدر.

تُسمى هذه المرحلة *متساوي الحجم*[26] لأنه بالرغم من انقباض البطينين، إلا أنهما لا يقذفا الدم بعد و

نظرة أعمق 19.3

التطبيق السريري

قصور الصمامات

يشير قصور الصمامات (عدم الكفاءة) إلى أي فشل في الصمام في منع الارتجاع (الرجوع - التدفق العكسي للدم. التضيق الصمامي هو شكل من أشكال القصور حيث تصبح شرفات الصمام متصلبة ويتم تضييق الفتحة بواسطة نسيج ندبي. غالبًا ما ينتج عن الحمى الروماتيزمية، وهي مرض مناعي ذاتي حيث تهاجم الأجسام المضادة التي تُنتج لمكافحة عدوى بكتيرية صمامات الميترال والأبهر. مع تندب وتضيق الصمامات، يُجهد القلب في دفع الدم عبر الفتحات وقد يتضخم.

يسبب ارتجاع الدم عبر الصمامات غير الكفؤة اضطرابًا يمكن سماعه بواسطة السماعة الطبية كنفخة قلبية.
هبوط صمام الميترال (MVP) هو قصور يحدث عندما ينتفخ شرف واحد أو كلا شرفي صمام الميترال إلى الأذين أثناء انقباض البطين.
غالبًا ما يكون وراثيًا ويصيب حوالي شخص واحد من كل 40، خاصة النساء الشابات. في كثير من الحالات، لا يسبب خللًا خطيرًا، لكن في بعض الأشخاص يسبب ألمًا في الصدر، وتعبًا، وضيقًا في التنفس.
في بعض الحالات، يمكن أن يؤدي الصمام غير الكفؤ في النهاية إلى فشل القلب. يمكن إصلاح الصمام التالف جراحيًا أو استبداله بصمام صناعي أو بصمام مزروع من قلب خنزير.

يرتفع ضغط البطين فوق ضغط الشرايين، فيدفع الصمامات للفتح ويتم ضخ الدم من القلب (الشكل 19.19ب). ثم عندما يسترخي البطينان مرة أخرى وينخفض ضغطهما إلى ما دون ضغط الشرايين، يتدفق الدم الشرياني لفترة وجيزة إلى الخلف ويملأ جيوب الصمامات الهلالية. تلتقي الثلاثة جيوب في وسط الفتحة وتغلقها (انظر الشكل 19.8ب)، مما يمنع الدم الشرياني من العودة إلى القلب.

طبق ما تعرفه

كيف سيؤثر تضيق صمام الأبهر (انظر نظرة أعمق 19.3) على كمية الدم المضخوخة إلى الأبهر؟
كيف قد يؤثر هذا على قدرة الشخص البدنية؟
اشرح سببك.

19.5ب أصوات القلب

أثناء متابعة الأحداث خلال دورة القلب، سنلاحظ حدوث صوتين أو ثلاثة *أصوات قلبية* يمكن سماعها باستخدام السماعة الطبية.
الاستماع إلى الأصوات التي يصدرها الجسم يُسمى التنصت (AWS-cul-TAY-shun). يُوصف الصوتان الأول والثاني للقلب، المشار إليهما بـ S1 و S2 غالبًا بأنه "لوب-دب" — حيث يكون S1 أعلى وأطول و S2 أهدأ وأوضح قليلاً. في الأطفال والمراهقين، من الطبيعي سماع الصوت الثالث للقلب (S3). هذا الصوت نادراً ما يُسمع عند الأشخاص الذين تزيد أعمارهم عن 30 عامًا، ولكن عندما يُسمع، يُقال إن نبض القلب يظهر إيقاعًا ثلاثيًا أو جالوب، مما قد يشير إلى تضخم وفشل في القلب. إذا تم تقليد الأصوات الطبيعية تقريبًا عن طريق طرق إصبعين على الطاولة، فإن الإيقاع الثلاثي يشبه قليلاً طرق ثلاثة أصابع. صمامات القلب نفسها

[25] *steno* = ضيق؛ *osis* = حالة

[26] *iso* = نفس؛ *volum* = حجم؛ *metr* = قياس

الشكل 19.20 مخطط ويجرز المعدل، يوضح أحداث دورة القلب. تم عرض دورتين. تم ترقيم المراحل عبر الأسفل لتتوافق مع وصف النص.



اشرح لماذا يبدأ منحنى ضغط الشريان الأورطى فى الارتفاع فجأة عند حوالى 0.5 ثانية.

صوت القلب S_3، إذا حدث، يُعتقد أنه ناتج عن
الانتقال من توسع البطينين الفارغين إلى
ملئهما المفاجئ بالدم.

في الشخص المستريح، تستمر انقباض الأذين حوالي 0.1 ثانية؛ وانقبا
ص البطين، 0.3 ثانية؛ وفترة السكون)عندما تكون جميع الحجرات الأربع في
حالة انبساط(، 0.4 ثانية. لذلك، فإن المدة الإجمالية لدورة القلب هي 0.8
ثانية)800 مللي ثانية(في قلب ينبض بمعدل 75 نبضة في الدقيقة.

19.5د نظرة عامة على تغييرات الحجم

يمكن الحصول على منظور إضافي حول دورة القلب إذا قمنا بمراجعة
التغيرات في الحجم التي تحدث. هذه "الورقة المالية" من وجهة نظر
بطين واحد؛ كلا البطينين لهما أحجام متساوية. تختلف الأحجام قليلاً م
ن شخص لآخر وتعتمد على حالة نشاط الشخص.

60 مل	حجم نهاية الانقباض)ESV(المتبقي من نبضة القلب السابقة
+ 30 مل	يُضاف بشكل سلبي إلى البطين أثناء انبساط الأذين
+ 40 مل	يُضاف بواسطة انقباض الأذين
130 مل	*الإجمالي*: حجم نهاية الانبساط)EDV(
– 70 مل	حجم السكتة الدماغية)SV(الذي يُضخ بواسطة انقباض البطين
60 م	*يترك*: حجم نهاية الانقباض)ESV(

للاحظ أن البطين يضخ كمية الدم التي استقبلها خلال الانبساط:
70 مل في هذا المثال. كلا البطينين يضخان نفس كمية الدم على الرغ
م من أن الضغط في البطين الأيمن هو حوالي خُمس الضغط في البط
ين الأيسر فقط. ضغط الدم في الجذع الرئوي منخفض نسبيًا، لذلك لا
يحتاج البطين الأيمن إلى توليد ضغط كبير لتجاوزه.

التدفق المتساوي من كلا البطينين ضروري للحفاظ على التوازن ا
لداخلي)التوازن الحيوي(. إذا ضخ البطين الأيمن دمًا أكثر إلى الرئتين م
ما يمكن للبطين الأيسر التعامل معه عند العودة، يتراكم الدم في الرئ
تين، مما يسبب ارتفاع ضغط الدم الرئوي، والوذمة، وخطر الغرق في
سوائل الجسم)الشكل 19.21أ(. أحد أول علامات فشل البطين الأي
سر هو ضيق التنفس—الشعور بضيق النفس والاختناق. وعلى العك
س، إذا ضخ البطين الأيسر دمًا أكثر من البطين الأيمن، يتراكم الدم ف
ي الدورة الدموية الجهازية، مما يسبب ارتفاع ضغط الدم والوذمة الجه
ازية الواسعة)الشكل 19.21ب(. هذه الوذمة الجهازية، التي كانت تُ
سمى شعبيًا *القطرات,* تتميز بتضخم الكبد؛ وانتفاخ الأوردة الوداجية
في الرقبة؛ وتورم الأصابع والكاحلين والقدمين؛ و الاستسقاء(ah-SIT
E-eez)، وهو تجمع للسوائل في تجويف البطن)انظر الأ
شكال 18.3 و20.39(. يمكن أن يؤدي ذلك إلى السكتة الدماغية أو ف
شل الكلى. فشل أحد البطينين يزيد العبء على الآخر، مما يجهده وغا
لبًا ما يؤدي إلى فشله في النهاية أيضًا.من حيث المبدأ، إذا كان ناتج ا
لبطين الأيسر أكبر بنسبة 1% فقط من ناتج البطين الأيمن، فإنه سي
صرف الرئتين تمامًا من الدم في أقل من 10 دقائق)على الرغم من أن
الوفاة ستحدث قبل ذلك بكثير(.

لا يوجد تغيير في حجمها. وذلك لأن الضغوط
في الأبهر)80 ملم زئبق(وجذع الرئة)10 ملم زئبق(
لا تزال أكبر من الضغوط في البطينين
المقابلين وبالتالي تعارض فتح الصمامات الهلالية.
تُمارس خلايا عضلة القلب قوة، ولكن مع إغلاق الصمامات الأربع،
لا يمكن للدم أن يذهب إلى أي مكان.

.3قذف البطين. يبدأ قذف الدم عندما
يتجاوز ضغط البطين ضغط الشريان ويدفع
الصمامات الهلالية للفتح. يصل الضغط عادة إلى
120 ملم زئبق في البطين الأيسر و25 ملم زئبق في
الأيمن. يندفع الدم من كل بطين بسرعة في البداية
)القذف السريع(، ثم يتدفق ببطء أكثر تحت ضغط أقل *)الق
ذف المخفض(*. بالمثل، افترض أنك هزت زجاجة صودا وأزلت ا
لغطاء. سيندفع الصودا بسرعة تحت ضغط عالٍ ثم يتسرب بب
طء تحت ضغط أقل، تمامًا مثل الدم الذي يخرج من البطينين
. يستمر قذف البطين حوالي 200 إلى 250 مللي ثانية، وهو م
ا يتوافق مع هضبة جهد فعل عضلة القلب ولكن يتأخر قليلاً عن
ها)راجع منحنى التوتر الأحمر في الشكل 19.14(. يحدث موجة T
في وقت متأخر من هذه المرحلة، بدءًا من لحظة ذروة ضغط ا
لبطين.

لا يطرد البطينان كل دمهما. في قلب في حالة راحة
متوسط، يحتوي كل بطين على حجم نهاية الانبساط)EDV(
قدره 130 مل. الكمية المقذوفة، حوالي 70 مل، تسمى حج
م الضربة)SV(. وهذا يمثل حوالي 54% من EDV، وهي نس
بة تسمى نسبة القذف. الدم المتبقي، حوالي 60 مل في
هذه الحالة، يسمى حجم نهاية الانقباض)ESV(. لاحظ أن ED
V – SV = ESV.
في التمارين الشديدة، قد تصل نسبة القذف إلى 90%. نسبة ا
لقذف هي مقياس مهم لصحة القلب. قد يطرد القلب المريض
أقل بكثير من 50% من الدم الذي يحتويه.

4. الاسترخاء متساوي الحجم. هذه هي بداية انبساط البطي
ن، عندما تنتهي موجة T ويبدأ البطينان في التوسع. هناك فرض
يات متنافسة حول كيفية توسعهما. إحداها أن الدم المتدفق إ
لى البطينين ينفخهما. والأخرى أن انقباض البطينين يشوه اله
يكل الليفي، الذي يرتد بعد ذلك مثل كرة مطاطية لمصنحة الديك
الرومي التي تم ضغطها وإطلاقها. هذا الارتداد المرن والتوسع
يسبب انخفاض الضغط بسرعة ويمتص الدم إلى البطينين.

في بداية انبساط البطين، يتدفق الدم من الأبهر وجذع الر
ئة لفترة وجيزة إلى الخلف عبر الصمامات الهلالية. ومع ذلك
، فإن التدفق العكسي يسرع في ملء الشرفات ويغلقها، مم
ا يخلق ارتداد ضغط طفيف يظهر كـ *النتوء الثنائي* في منحن
ى ضغط الأبهر)المنحنى العلوي في مخطط ويجرز(. يحدث
الصوت القلبي 2Sعندما يرتد الدم من الصمامات الهلالية ا
لمغلقة ويتوسع البطينان.

تسمى هذه المرحلة *متساوية الحجم* لأن الصمامات الهلالية
مغلقة، وصمامات الأذين والبطين لم تُفتح بعد، وبالتالي لا يد
خل الدم إلى البطينين. عندما تفتح صمامات الأذين والبطين،
يبدأ ملء البطين)المرحلة 1(مرة أخرى.

تراكم السوائل فى أى من الدورتين بسبب قصور فى ضخ البطين يُسمى فشل القلب الاحتقانى (CHF). الأسباب الشائعة لفشل القلب الاحتقانى هى احتشاء عضلة القلب، ارتفاع ضغط الدم المزمن، عيوب الصمامات، والعيوب الخلقية فى تشريح القلب.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

20. اشرح كيف يحدد تدرج الضغط عبر صمام القلب ما إذا كان البطين يضخ الدم.
21. ما العوامل التى يُعتقد أنها تسبب الصوتين الأول والثانى للقلب؟ متى تحدث هذه الأصوات؟
22. ما هى مراحل دورة القلب التى تكون فيها الأحجام ثابتة (إيزوفوليمتريك)؟ اشرح ماذا يعنى هذا.
23. عرف حجم نهاية الانبساط و حجم نهاية الانقباض؛ اشرح شفهياً لماذا حجم الضربة القلبية هو الفرق بين هذين الحجمين.
24. لماذا من المهم جداً ألا يضخ البطين الأيمن أو الأيسر كمية دم أكثر من الآخر لفترة طويلة؟

تنظيم النتاج القلبى 19.6

النتائج التعليمية المتوقعة

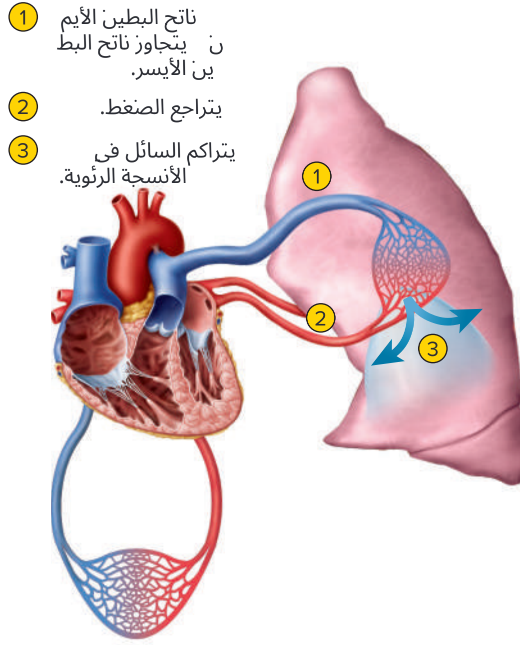
عندما تكمل هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. تتبع مسارات الأعصاب الودية واللاودية إلى خلاياها المستهدفة فى القلب؛
ب. تعريف النتاج القلبى وشرح أهميته؛
ج. تحديد العوامل التى تتحكم فى النتاج القلبى؛
د. مناقشة بعض العوامل العصبية والكيميائية التى تغير معدل ضربات القلب، حجم الضربة، والنتاج القلبى؛
هـ. شرح كيف يحقق البطينان الأيمن والأيسر توازنًا فى النتاج؛ و
و. وصف بعض تأثيرات التمرين على النتاج القلبى.

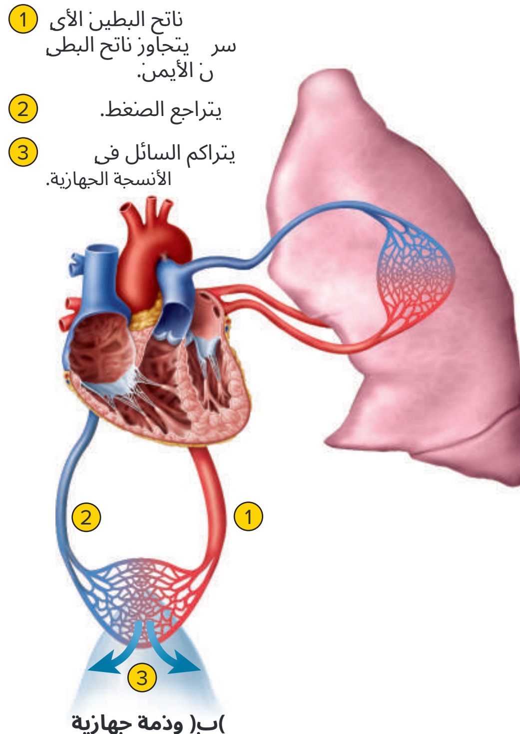
القلب لا يضخ نفس كمية الدم فى كل دقيقة من كل يوم، بل يغير إنتاجه وفقًا لحالات الراحة، والتمرين، والعاطفة، وعوامل أخرى. نحن جميعًا نعرف الظروف التى تجعل قلوبنا تنبض أسرع أو بقوة أكبر. فى هذا القسم، نستكشف كيف ينظم الجهازان العصبيان الودى واللاودى، والهرمونات، والأدوية، وعوامل أخرى القلب.

19.6أ التعصيب الذاتى للقلب

على الرغم من أن القلب لديه منظم ضربات خاص به، إلا أن إيقاعه وقوة انقباضه يتم تعديلها بواسطة إشارات تنشأ من مركزين قلبيين فى النخاع المستطيل بجذع الدماغ. أحد هذين المركزين، مركز التسريع القلبى، يتواصل مع القلب عبر الأعصاب القلبية اليمنى واليسرى التى تحمل الإشارات الودية



(أ) وذمة رئوية



(ب) وذمة جهازية

الشكل 19.21 ضرورة توازن الناتج البطينى. (أ) إذا ضخ البطين الأيسر كمية دم أقل من البطين الأيمن، يتراجع ضغط الدم إلى الرئتين ويسبب وذمة رئوية. (ب) إذا ضخ البطين الأيمن كمية دم أقل من البطين الأيسر، يتراجع الضغط فى الدورة الدموية الجهازية ويسبب وذمة جهازية. للحفاظ على التوازن الداخلى، يجب أن يضخ كلا البطينين نفس متوسط كمية الدم.

القرن الجانبى. تنشأ الألياف قبل العقدة هنا وتسافر إلى العقد ا
لودية المجاورة.

2 بعض هذه الألياف تتشابك مع الخلايا العصبية بعد العقدة عل
ى مستوى الدخول إلى السلسلة، وأخرى تصعد إلى العقد العن
قية وتلتقى بالخلايا العصبية بعد العقدة هناك.

3 تشكل الألياف بعد العقدة الخارجة من السلسلة الودية الأعصا
ب القلبية. وهذه تؤدى إلى الصفيرة القلبية، شبكة من الأليا
ف الودية واللاودية المختلطة الموجودة بين قوس الأبهر، ال
جذع الرئوى، والقصبة الهوائية السفلى.

4 تستمر الألياف بعد العقدة عبر الصفيرة دون تشابك وتنتهى على عدة أهداف داخل القلب
وقريباً منه:
العقدة الجيبية الأذينية، العقدة الأذينية البطينية، عضلة الأذينين وا
لبطينين، الأبهر، الجذع الرئوى، والشرايين التاجية.

التحفيز الودى يزيد من معدل ضربات القلب وقوة الانقباض ويوسع ا
لشرايين التاجية لزيادة إمداد الدم إلى عضلة القلب العاملة.

يُظهر المسار اللاودى على الجانب الأيمن من
نفس الشكل. تخرج الإشارات اللاودية من مركز تثبيط القلب
من النخاع المستطيل عبر العصبين المبهمين.
تسير هذه الأعصاب على طول الجانبين الأيمن والأيسر من المنصف،
ولكن كلاهما موضح على الجانب الأيمن من الشكل فقط لسهولة الر
سم التوضيحى. لرؤية صورة للسلسلة الودية والعصب المبهم الأيمن
بالنسبة للقلب، انظر الشكل 15.3. تسير أعصاب المبهم إلى أهدافها
فى القلب عبر المسار المرقم كما يلى فى الشكل 19.22:

5 تسير الألياف قبل العقدة للعصب المبهم عبر الصفيرة القلبية، م
ختلطة مع الألياف الودية. تتشابك مع ألياف بعد العقدة القصيرة
هنا فى الصفيرة أو فى التامور الخارجى للأذينين، خاصة بالقرب
من العقدة الجيبية الأذينية)SA(والعقدة الأذينية البطينية)A
V).

6 تؤدى الألياف بعد العقدة القصيرة للعصب المبهم الأيمن
بشكل رئيسى إلى العقدة الجيبية الأذينية، وتؤدى ألياف العصب
المبهم الأيسر بشكل رئيسى إلى العقدة الأذينية البطينية، لكن
لكل منهما بعض الألياف التى تعبر إلى خلايا الهدف الأخرى.
علاوة على ذلك، تنتهى بعض الألياف اللاودية على الألياف الودية
وتثبطها من تحفيز القلب ومواجهة التأثير اللاودى. هناك
قليل أو لا يوجد تعصيب لاودى لعضلة القلب أو البطينين.

بشكل عام، تهيمن الأعصاب الودية على التحكم فى قوة الانقبا
ض. يتأثر معدل ضربات القلب بشدة من كلا القسمين، لكنه يهيمن ع
ليه أعصاب المبهم. تحمل الأعصاب القلبية ليس فقط أليافًا ودية صا
درة، بل أيضًا أليافًا حسية)واردة(من القلب إلى الجهاز العصبى المر
كزى. هذه الألياف مهمة فى الانعكاسات القلبية الوعائية ونقل إشارا
ت الألم من القلب.

19.6ب النتاج القلبى

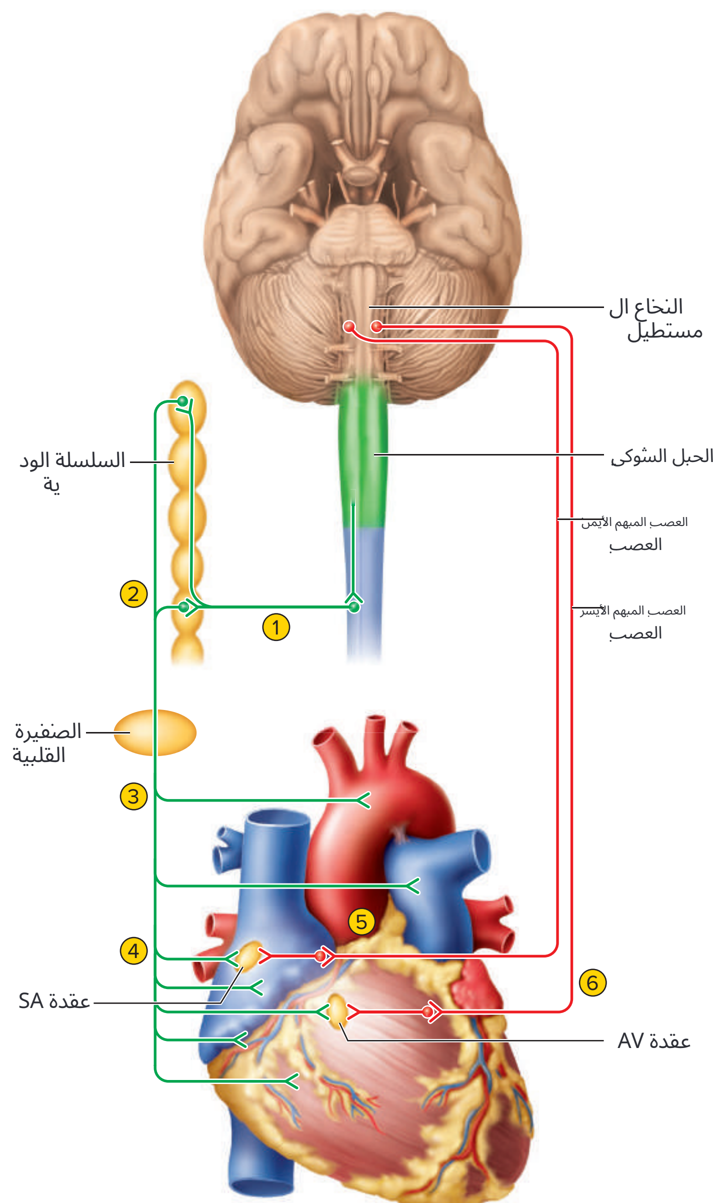
الهدف الكامل من كل فسيولوجيا القلب التى نظرنا إليها هو ضخ الدم
من القلب. كمية الدم التى يضخها كل بطين فى دقيقة واحدة تسمى
النتاج القلبى)CO(. إذا كان HR هو معدل ضربات القلب)نبضة/دق
قة(و SV هو حجم الضربة)مل/نبضة(.

$$CO = HR \times SV$$

صبية بعد العقدة. الأخرى هى مركز تثبيط القلب القريب، الذى يتواصل مع ا
لقلب عبرالعصب المبهم الأيمن والأيسر الذى يحمل ألياف عصبية قبل العقد
ة من الجهاز اللاودى.

يُطهر المسار الودى إلى القلب على الجانب الأيسر من الشكل 1
9.22، مرقماً كما يلى:

1 الإشارات التحفيزية من مركز تسريع القلب تنزل إلى المقاطع
الصدرية العلوية)T1–T4(من الحبل الشوكى، وتنتهى على الخلا
يا العصبية قبل العقدة الودية فى



الشكل 19.22 التعصيب الذاتى للقلب.
لأغراض تخطيطية، يُطهر الصفيرة القلبية مائلة
عن القلب، وليس فى موقعها الطبيعى. تحدث المسارات الودية
واللاودية على الجانب الأيمن
والأيسر، على الرغم من أن السلسلة العصبية الودية والأعصاب
مبينة فقط على الجانب الأيسر وكلا العصبين المبهمين
مبينيان على الجانب الأيمن.

التأثيرات المؤثرة على الزمن)chronotropic(للجهاز العصبى الذاتى، والهرمونات، الإلكتروليتات، وغازات الدم.

الجهاز العصبى الذاتى

على الرغم من أن الجهاز العصبى لا يبدأ نبضات القلب، إلا أنه يصنبط إيقاعها وقوتها من خلال الأعصاب الذاتية المذكورة أعلاه. يمارس الجهاز العصبى الودى تأثيراته مباشرة عبر الأعصاب القلبية وبشكل غير مباشر عن طريق تحفيز لب الغدة الكظرية. تقوم ألياف الأعصاب بإفراز النورإبينفرين)NE(وتفرز لب الغدة الكظرية مزيجًا من حوالى 85% إبينفرين)Epi(و15% نورإبينفرين — والمعروفين مجتمعة باسم الكاتيكولامينات.
تؤثر هذه على كل من معدل ضربات القلب وقوة الانقباض، ولكن فى الوقت الحالى، سنركز على تأثيرات معدل ضربات القلب)chronotropic(.
يرتبط الإبينفرين والنورإبينفرين بمستقبلات β-أدرينالية فى القلب ويفعّلان نظام الرسول الثانى الأدينوزين أحادى الفوسفات الحلقى)cAMP( )انظر الشكل 3.8(. يقوم cAMP بتنشيط إنزيم يفتح قنوات Ca2+ فى غشاء البلازما، مما يسمح بدخول الكالسيوم من السائل خارج الخلية إلى العقدة الجيبية الأذينية وخلايا عضلة القلب. هذا يسرع إزالة الاستقطاب فى العقدة الجيبية الأذينية ويعجل انتقال الإشارة عبر العقدة الأذينية البطينية. كلا هذين الأمرين يسرع انقباضات عضلة البطين ويزيد من سرعة نبضات القلب. بالإضافة إلى ذلك، يعجل cAMP إعادة امتصاص Ca^{2+} بواسطة الشبكة الساركوبلازمية فى خلايا عضلة القلب. إعادة الامتصاص السريعة للكالسيوم تقصر فترة انقباض البطين)الانقباض البطينى(وفترة QT)انظر الشكل 19.15(، مما يمكّن البطينين من الاسترخاء والامتلاء بسرعة أكبر مما يحدث فى حالة الراحة.
من خلال تسريع كل من انقباض واسترخاء القلب، يزيد cAMP من معدل ضربات القلب.

يمكن للتحفيز الأدرينيرجى، فى الواقع، أن يرفع معدل ضربات القلب إلى 230 نبضة فى الدقيقة. يتم تحديد هذا الحد بشكل رئيسى بواسطة فترة refractoriness لعقدة الجيب الأذينى)SA(، التى تمنعها من الإطلاق بوتيرة أعلى.
يبلغ النتاج القلبى ذروته عند معدل 160 إلى 180 نبضة فى الدقيقة. عند معدلات أعلى من ذلك، يكون لدى البطينين وقت قليل جدًا للامتلاء بين النبضات. عند معدل راحة يبلغ 65 نبضة فى الدقيقة، تستمر فترة انبساط البطين حوالى 0.62 ثانية، ولكن عند 200 نبضة فى الدقيقة، تستمر فقط 0.14 ثانية.
لذا يمكنك أن ترى أنه عند معدلات ضربات قلب مرتفعة جدًا، يكون الانبساط قصيرًا جدًا بحيث لا يسمح بالامتلاء الكامل للبطينين، وبالتالى يقل حجم الضربة والنتاج القلبى.
الأعصاب المبهمة)العصب المبهم(فى الجهاز العصبى اللاودى، بالمقابل، لها تأثير زمنى سلبى. إذا تُركت العقدة الجيبية الأذينية والقلب ككل لنفسها، فإن لديها إيقاع راحة يبلغ حوالى 100 نبضة فى الدقيقة؛ وهذا ما يُرى إذا تم قطع جميع الأعصاب المؤدية إلى القلب أو إذا تم حجب جميع التأثيرات الودية واللاودية دوائيًا. ولكن مع وجود تعصيب سليم وفعال، تم تلك الأعصاب المبهمة معدل إطلاق خلفى ثابت يُسمى "نغمة العصب المبهم" التى تحافظ على معدل ضربات القلب عند 70 إلى 80 نبضة فى الدقيقة فى حالة الراحة. يمكن تسريع القلب ليس فقط عن طريق التحفيز الودى ولكن أيضًا عن طريق تقليل نغمة العصب المبهم والسماح للقلب بـ "القيام بعمله الخاص". يمكن للتحفيز المبهم الشديد أن يقلل معدل ضربات القلب إلى 20 نبضة فى الدقيقة أو حتى يوقف القلب لفترة وجيزة.

الخلايا العصبية بعد العقدة للعصب المبهم هى خلايا كولينية — تفرز الأسيتيل كولين)ACh(فى العقدة الجيبية الأذينية والعقدة الأذينية البطينية. يرتبط الأسيتيل كولين بمستقبلات المسكارين ويفتح قنوات البوتاسيوم)K+(فى خلايا العقدة. يؤدى تدفق البوتاسيوم الخارج إلى فرط استقطاب الخلايا، مما يجعل العقدة الجيبية الأذينية تطلق نبضات أقل تكرارًا ويبطئ القلب. يعمل الأسيتيل كولين بشكل رئيسى على العقدة الجيبية الأذينية ولكنه يبطئ أيضًا توصيل الإشارة عبر العقدة الأذينية البطينية، مما يؤخر إثارة البطينين. الأعصاب المبهمة

عند القيم النموذجية للراحة،

CO = 75 نبضة/دقيقة × 70 مل/نبضة = 5250 مل/دقيقة.

لذا، يمر حجم الدم الكلى فى الجسم)٤–٦ لترات(عبر القلب كل دقيقة ؛ أو بنظرة أخرى، فإن خلية دم حمراء تغادر البطين الأيسر ستصل، فى المتوسط، مرة أخرى إلى البطين الأيسر خلال حوالى دقيقة واحدة.

يختلف النتاج القلبى حسب حالة نشاط الجسم. يزيد التمرين القوى النتاج القلبى إلى ما يصل إلى ١٢ لتر/دقيقة لدى الشخص فى حالة جيدة، وأكثر من ٤٠ لتر/دقيقة لدى الرياضيين من الطراز العالمى.
الفرق بين أقصى نتاج قلبى والنتاج القلبى فى حالة الراحة يُسمى الاحتياطى القلبى. الأشخاص الذين يعانون من أمراض قلبية شديدة قد يكون لديهم احتياطى قلبى قليل أو معدوم وقدرة تحمل منخفضة للجهد البدنى.
نظرًا لأن النتاج القلبى يساوى معدل ضربات القلب × حجم الضربة، يمكنك أن ترى أن هناك طريقتين فقط لتغييره: تغيير معدل ضربات القلب أو تغيير حجم الضربة. سننظر فى العوامل التى تؤثر على كل من هذين المتغيرين، ولكن ضع فى اعتبارك أن معدل ضربات القلب وحجم الضربة مرتبطان إلى حد ما. عادةً ما يتغيران معًا وباتجاهين متعاكسين. عندما يرتفع معدل ضربات القلب، ينخفض حجم الضربة، والعكس صحيح.

19.6ح معدل ضربات القلب والعوامل الكرونوتروبية

يمكن قياس معدل ضربات القلب بسهولة عن طريق أخذ النبض عند نقطة ما حيث يمر شريان قريب من سطح الجسم، مثل *الشريان الكعبرى* فى المعصم أو *الشريان السباتى العام* فى الرقبة. كل نبضة من القلب تنتج موجة ضغط يمكن الشعور بها عن طريق تحسس شريان سطحى بأطراف الأصابع.
يمكن الحصول على معدل ضربات القلب عن طريق عد عدد النبضات فى ١٥ ثانية وضربها فى ٤ للحصول على عدد الضربات فى الدقيقة. فى الأطفال حديثى الولادة، يكون معدل ضربات القلب فى الراحة عادة ١٢٠ نبضة فى الدقيقة أو أكثر. ينخفض تدريجيًا مع التقدم فى العمر، بمتوسط ٧٢ إلى ٨٠ نبضة فى الدقيقة لدى الإناث البالغات الشابات و٦٤ إلى ٧٢ نبضة فى الدقيقة لدى الذكور البالغين الشباب. ويرتفع مرة أخرى فى كبار السن.
تسرع القلب[27] هو معدل ضربات قلب مستمر فى الراحة لدى البالغين يزيد عن ١٠٠ نبضة فى الدقيقة. يمكن أن يكون سببه التوتر، القلق، المنشطات، أمراض القلب، أو الحمى. كما يرتفع معدل ضربات القلب للتعويض إلى حد ما عن انخفاض حجم الضربة. لذلك، يتسارع القلب عندما يفقد الجسم كمية كبيرة من الدم أو عندما يكون هناك تلف فى عضلة القلب.
بطء القلب[28] هو معدل ضربات قلب مستمر فى الراحة لدى البالغين أقل من ٦٠ نبضة فى الدقيقة. وهو شائع أثناء النوم وفى الرياضيين المدربين على التحمل. يزيد التدريب على التحمل من حجم القلب ويزيد من حجم الضربة، مما يمكنه من الحفاظ على نفس النتاج مع عدد ضربات أقل. كما يبطئ انخفاض حرارة الجسم)انخفاض درجة حرارة الجسم(القلب وقد يتم تحفيزه عمدًا تحضيرًا لجراحة القلب.
تُظهر الثدييات الغاطسة مثل الحيتان والفقمات بطء القلب أثناء الغوص، وكذلك يفعل البشر إلى حد ما عندما يُغمر الوجه فى ماء بارد.

العوامل خارج القلب نفسها التى ترفع معدل ضربات القلب تُسمى العوامل الإيجابية المؤثرة على الزمن)positive chronotropic agents(، والعوامل التى تخفضه تُسمى العوامل السلبية المؤثرة على الزمن)negative chronotropic agents(. سننظر بعد ذلك فى بعض

[27] *تاكى* = السرعة، سريع؛ *قلب* = القلب؛ *يا* = حالة
[28] *برادى* = بطىء؛ *قلب* = القلب؛ *يا* = حالة
[29] *كرونو* = الزمن؛ *تروب* = التغيير، التأثير

الحماض يحفز مراكز القلب لزيادة معدل ضربات القلب، مما
يحسن تدفق الدم إلى الأنسجة ويعيد التوازن الداخلي. كما تـ
ستجيب المستقبلات الكيميائية أيضًا للحالات الشديدة
نقص الأكسجين في الدم)نقص الأكسجين(، كما في الاختنا
ق، لكن التأثير عادةً ما يكون تباطؤ ضربات القلب، ربما حتى لا
يتنافس القلب مع الدماغ على إمداد الأكسجين المحدود.

تُعد هذه الاستجابات للتقلبات في كيمياء الدم وضغط الدم، التي تُسمى
ردود الفعل الكيميائية و ردود الفعل الضغطية أمثلة جيدة على حلقا
ت التغذية الراجعة السلبية. وسيتم مناقشتها بشكل أكثر تفصيلاً في ال
فصل التالي.

الهرمونات، الأدوية، والمواد الكيميائية الكرونوترو بية الأخرى

يتأثر معدل ضربات القلب بالعديد من العوامل الأخرى إلى جانب الجه
از العصبي الذاتي. يُسرّع هرمون الغدة الدرقية معدل ضربات القلب م
ن خلال تحفيز زيادة تنظيم مستقبلات β-الأدرينالية، مما يجعل القلب
أكثر حساسية للتحفيز الودي؛ ولهذا السبب يُعد تسرع القلب أحد علا
مات فرط نشاط الغدة الدرقية. يُسرّع الجلوكاجون، الذي تفرزه خلايا أل
فا في جزر البنكرياس، القلب عن طريق تعزيز إنتاج cAMP. يُعطى الج
لوكاجون أحيانًا في حالات الطوارئ القلبية لتحفيز نبضات القلب، وغا
لبًا ما يُعطى الإبينفرين لدعم النتاج القلبي وضغط الدم في حالات الح
ساسية المهددة للحياة.

الأدوية والعقاقير المنقولة عن طريق الغذاء لها أيضًا تأثيرات معر
وفة على معدل ضربات القلب مرتبطة بآلية الكاتيكولامين–cAMP. ا
لنيكوتين يسرع القلب عن طريق تحفيز إفراز الكاتيكولامين. الكافيين
والمنبهات المرتبطة به في الشاي والشوكولاتة تسرع القلب عن طريق
تثبيط تحلل cAMP، مما يطيل تأثيره الأدرينيرجي. غالبًا ما يُعالج ارت
فاع ضغط الدم بأدوية تُسمى *حاصرات بيتا*، التي تبطئ القلب عن طر
يق تثبيط ارتباط الكاتيكولامين بمستقبلات β-الأدرينالية.

تؤثر تركيزات الإلكتروليتات أيضًا بشكل كبير على معدل ضربات ا
لقلب وقوة الانقباض. التأثير الزمني الأقوى يأتي من أيونات البوتاسيو
م)K^+(. في حالة فرط بوتاسيوم الدم، وهو زيادة في البوتاسيوم، تنتشر
أيونات K^+ إلى داخل خلايا عضلة القلب وتحافظ على ارتفاع جهد الغ
شاء، مما يعيق إعادة استقطاب خلايا عضلة القلب. يصبح القلب أقل
استثارة، ويصبح معدل ضربات القلب بطيئًا وغير منتظم، وقد يتوق
ف القلب في طور الانبساط. في حالة نقص بوتاسيوم الدم، وهو نقص
في البوتاسيوم، تنتشر أيونات K^+ خارج خلايا عضلة القلب وتصبح م
فرطة الاستقطاب — جهد الغشاء يصبح أكثر سلبية من الطبيعي. هذا
يجعل من الصعب تحفيزها. هذه الاختلالات في البوتاسيوم خطيرة ج
دًا وتتطلب علاجًا طبيًا طارئًا.

الكالسيوم يؤثر أيضًا على معدل ضربات القلب. فرط الكالسيوم
)فرط كالسيوم الدم(يسبب بطء ضربات القلب، في حين أن نقص ال
كالسيوم *)نقص كالسيوم الدم(* يرفع معدل ضربات القلب. ومع ذلك،
فإن مثل هذه الاختلالات في الكالسيوم نادرة نسبيًا، وعندما تحدث،
يكون تأثيرها الأساسي على قوة الانقباض، والتي سيتم تناولها في الق
سم القادم حول القابلية للانقباض. الفصل 24 يستعرض بشكل أعمق
أسباب وتأثيرات الاختلالات في البوتاسيوم والكالسيوم والإلكتروليتا
ت الأخرى.

[30] *hyper* = زيادة؛ *kal* = بوتاسيوم)لاتيني. *kalium*(؛ *emia* = حالة الدم

سرع على القلب من الأعصاب الودية لأن الأسيتيل كولين يعمل مباشرة على
قنوات الأيونات في الغشاء؛ أما التأثيرات الودية فهي أبطأ بسبب الوقت الذ
ي يستغرقه نظام cAMP لفتح قنوات الأيونات.

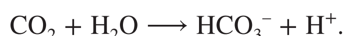
طبق ما تعرفه

أي من الفواصل أو المقاطع في تخطيط القلب الكهربائي تعتقد أ
نها الأكثر تأثرًا بالأسيتيل كولين؟
اشرح إجابتك.

الجهاز العصبي المركزي

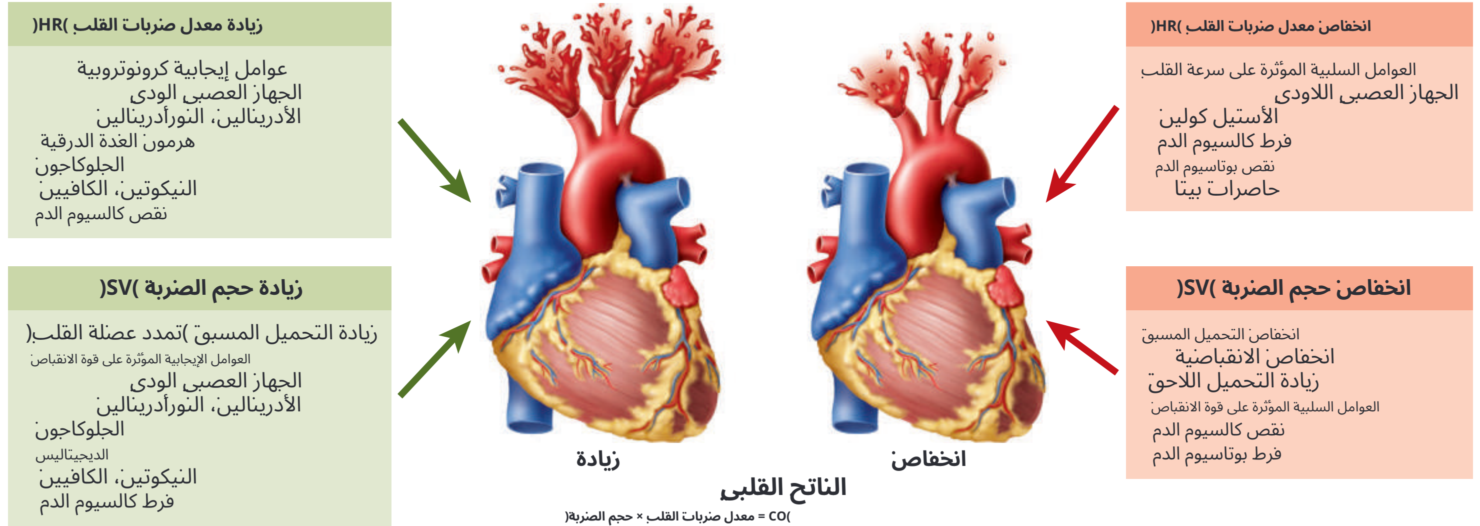
هناك فائدة في وضع معدل ضربات القلب تحت تأثير مراكز القلب
في النخاع المستطيل — حيث يمكن لهذه المراكز استقبال مدخلات
من مصادر عديدة ودمجها لاتخاذ قرار بشأن ما إذا كان ينبغي للقلب أ
ن ينبض بسرعة أكبر أو أبطأ. يمكن للمحفزات الحسية والعاطفية أن
تؤثر على مراكز القلب عبر القشرة الدماغية، والجهاز الحوفي، والوطاء؛
لذلك، يمكن لمعدل ضربات القلب أن يرتفع حتى وأنت تتوقع القفز ا
لأول على الأفعوانية أو التنافس في حدث رياضي، ويتأثر بالعواطف م
ثل الحب والغضب. كما يستقبل النخاع المستطيل مدخلات من الم
ستقبلات التالية في العضلات والمفاصل والشرايين وجذع الدماغ:

- تقدم المستقبلات الحسية الذاتية في العضلات والمفاصل مع
لومات عن التغيرات في النشاط البدني. وبالتالي، يمكن لل
قلب زيادة إنتاجه حتى قبل أن ترتفع المتطلبات الأيضية للعض
لات.
- مستقبلات الضغط)مستقبلات الضغط(هي حساسات ضغ
ط في الشريان الأورطي والشرايين السباتية الداخلية)انظر الأ
شكال 15.1، 20.4(. ترسل تيارًا مستمرًا من الإشارات إلى
النخاع المستطيل. عندما يرتفع معدل ضربات القلب، يزداد النتاج ا
لقلبي ويرفع ضغط الدم عند مستقبلات الضغط. تقوم مستق
بلات الضغط بزيادة إرسال الإشارات إلى النخاع المستطيل و، اع
تمادًا على الظروف، قد يصدر النخاع المستطيل إشارة عبر العص
ب المبهم لتقليل معدل ضربات القلب. وعلى العكس من ذلك
، تُعلم مستقبلات الضغط النخاع المستطيل أيضًا بانخفاض ضغط
الدم. يمكن للنخاع حينها إصدار إشارة تعاطفية لزيادة معدل ضر
بات القلب، مما يعيد النتاج القلبي وضغط الدم إلى المستويات ا
لطبيعية)انظر الشكل 1.8(. في كلتا الحالتين، عادةً ما يمنع حلقة ا
لتغذية الراجعة السلبية انحراف ضغط الدم بعيدًا عن الطبيعي.
- تحدث مستقبلات الكيمياء في قوس الأبهر، والشرايين السبا
تية،وفي النخاع المستطيل نفسه، وهي حساسة لـ pH الدم، وم
ستويات CO_2 وO_2 وهي أكثر أهمية في التحكم التنفسي منها
في التحكم القلبي الوعائي، لكنها تؤثر على معدل ضربات القلب.
إذا كانت الدورة الدموية إلى الأنسجة بطيئة جدًا لإزالة CO_2با
لسرعة التي تنتجه بها الأنسجة، فإن CO_2 يتراكم في الدم وا
لسائل الدماغي الشوكي)CSF(وينتج حالة فرط ثاني أكسيد الكر
بون)فرط CO_2(. علاوة على ذلك، يولد CO_2أيونات الهيدروجين
من خلال التفاعل مع الماء:



$$CO_2 + H_2O \longrightarrow HCO_3^- + H^+.$$

تخفض أيونات الهيدروجين درجة حموضة الدم والسائل الدماغي الشوكي وقد
تُحدث حالة *الحماض*)درجة الحموضة < 7.35(. فرط ثاني أكسيد الكربون و



الشكل 19.23 ملخص العوامل المؤثرة على النتاج القلبى. العوامل على اليسار)المربعات الخضراء(تزيد من النتاج القلبى، فى حين أن العوامل على اليمين)المربعات الحمراء(تقلله. وتشمل هذه الحالة الذاتية للقلب والشرايين المجاورة فى وقت معين)التحميل القبلى، القابلية للتقلص، والتحميل اللاحق(، والعوامل الخارجية التى تؤثر على القلب)العوامل الزمنية والعوامل القوية(.

أى أن حجم الضربة القلبية يتناسب طرديًا مع حجم نهاية الانبساط. بعبارة أخرى، تميل البطينات إلى طرد كمية الدم التى تستقبلها. ضمن حدود معينة، كلما تم تمديدها أكثر، زادت قوة انقباضها فى الضربة ا لتالية.

على الرغم من أن العضلات الهيكلية المسترخية تكون عادة عند طول مثالى لأقوى انقباض، فإن عضلة القلب المسترخية تكون أقل م ن الطول الأمثل. لذلك، يؤدى التمدد الإضافى إلى زيادة كبيرة فى قوة الانقباض فى الضربة التالية. هذا يساعد على موازنة النتاج بين البطين ين. على سبيل المثال، إذا بدأ البطين الأيمن بضخ كمية متزايدة من ا لدم، فإن هذا يصل قريبًا إلى البطين الأيسر، ويمده أكثر من السابق، م ما يجعله يزيد من حجم الضربة القلبية ليطابق حجم البطين الأيمن.

الانقباضية

الانقباضية تشير إلى مدى قوة انقباض عضلة القلب بالنسبة لتحميل قبلى معين. لا تصف الزيادة فى التوتر الناتجة عن تمدد العضلة، بل ا لزيادة التى تسببها العوامل التى تجعل خلايا عضلة القلب أكثر استجا بة للتحفيز. العوامل التى تزيد الانقباضية تسمى عوامل إيجابية التأثير الانقباضى[32]، وتلك التى تقللها تسمى عوامل سلبية التأثير الانقبا ضى.

للكالسيوم تأثير إيجابى قوى على الانقباضية — فهو يزيد من قوة كل انقباض للقلب. وهذا ليس مفاجئًا، لأن Ca^{2+} ليس فقط ضروريًا لاقتران الإثارة-الانقباض فى العضلات، بل أيضًا يطيل فترة الهضبة فى جهد فعل عضلة القلب. لذلك تؤثر اختلالات الكالسيوم ليس فقط على معدل ضربات القلب، كما رأينا سابقًا، بل أيضًا على قوة الانقبا ض. فى فرط كالسيوم الدم، ينتشر Ca^{2+} الزائد إلى خلايا عضلة القلب وينتج انقباضات قوية ومطولة.

يُعرض فى النصف العلوى من الشكل 19.23 عدة عوامل زمنية إيجابية وسلبية، تلخص كيف تؤثر على النتاج القلبى من خلال تعديل معدل ضربات القلب. ننتقل الآن إلى النصف السفلى من الشكل وال عوامل المؤثرة على النتاج القلبى من خلال تأثيرها على قوة الانقباض وحجم الضربة.

19.6د حجم الضربة والعوامل المؤثرة على الانقباض

العامل الآخر فى النتاج القلبى هو حجم الضربة. ويتحكم فيه ثلاثة متغ يرات تسمى *التحميل القبلى، القابلية للانقباض*، و *التحميل اللاحق*. زيادة التحميل القبلى أو القابلية للانقباض تزيد من حجم الضربة، فى حين أن زيادة التحميل اللاحق تعارض إفراغ البطينين وتقلل من حجم الضربة.

التحميل القبلى

التحميل القبلى هو مقدار التوتر)التمدد(فى عضلة البطين القلبية م باشرة قبل أن تبدأ فى الانقباض. لفهم كيف يؤثر هذا على حجم الضر بة القلبية، تخيل نفسك تمارس تمرينًا شاقًا. عندما تقوم العضلات ال نشطة بتدليك الأوردة، فإنها تدفع المزيد من الدم إلى القلب، مما يزيد من *العائد الوريدى*. مع دخول المزيد من الدم إلى القلب، يتمدد عض لة القلب. وبسبب علاقة الطول-التوتر فى العضلات المخططة)انظر ا لشكل 11.12(، فإن التمدد المعتدل يمكّن خلايا عضلة القلب من تو ليد توتر أكبر عند الانقباض — أى أن التمدد يزيد من التحميل القبلى. عندما تنقبض البطينات بقوة أكبر، فإنها تطرد المزيد من الدم، وبالتال ى تضبط النتاج القلبى ليتناسب مع الزيادة فى العائد الوريدى.

يتم تلخيص هذا المبدأ فى قانون فرانك-ستارلينغ للقلب.[31] بطريقة م ختصرة ورمزية، ينص على أن حجم الضربة القلبية ∝ حجم نهاية الانبساط؛

[31] أوتو فرانك)1865–1944(، عالم فسيولوجيا ألمانى؛ إرنست هنرى ستارلينغ)1866–1927(، عالم فسيولوج يا إنجليزى

[32] *ino* = ليف؛ *trop* = التغيير، التأثير

التحميل اللاحق

التحميل اللاحق هو مجموع كل القوى التى يجب أن يتغلب عليها البطين قبل أن يتمكن من ضخ الدم. المساهمة الأكثر أهمية فى التحميل اللاحق هى ضغط الدم فى الأبهر والجذع الرئوى مباشرة بعد الصمامات الهلالية؛ فهو يعارض فتح هذه الصمامات وبالتالى يحد من حجم الضربة. لهذا السبب، يزيد ارتفاع ضغط الدم من التحميل اللاحق ويعارض ضخ البطين. أى شىء يعيق الدورة الدموية الشريانية، مثل اللويحات التصلبية فى الشرايين، يمكن أن يزيد أيضًا من التحميل اللاحق. فى بعض أمراض الرئة، يتكون نسيج ندبى فى الرئتين ويقيد الدورة الدموية الرئوية. هذا يزيد من التحميل اللاحق فى الجذع الرئوى. مع عمل البطين الأيمن بجهد أكبر لتجاوز هذا المقاومة، يكبر مثل أى عضلة أخرى. يمكن أن يؤدى الإجهاد وتضخم البطين فى النهاية إلى ضعفه وفشله. يُسمى فشل البطين الأيمن بسبب انسداد الدورة الدموية الرئوية *cor pulmonale*[33] (كور بول-مو-ناي-لي). وهو مضاعفة شائعة لمرض النفاخ الرئوى، والتهاب الشعب الهوائية المزمن، ومرض الرئة السوداء.

19.6e التمرين والنتاج القلبى

ليس سرًا أن التمرين يجعل القلب يعمل بجهد أكبر، ولا ينبغى أن يكون مفاجئًا أن هذا يزيد من النتاج القلبى. السبب الرئيسى لزيادة معدل ضربات القلب فى بداية التمرين هو أن مستقبلات الحس العميق فى العضلات والمفاصل تنقل إشارات إلى مراكز القلب، مما يشير إلى أن العضلات نشطة وستحتاج بسرعة إلى تدفق دم متزايد. ثم يزيد الإخراج الودى من مراكز القلب النتاج القلبى لتلبية الطلب المتوقع. مع تقدم التمرين، تزيد النشاط العضلى من العائد الوريدى. هذا يزيد من التحميل القبلى على البطين الأيمن وينعكس قريبًا فى البطين الأيسر مع زيادة الدم.

[33] *cor* = القلب؛ *pulmo* = الرئة

ت القصوى، يمكن أن يسبب توقف القلب فى الانقباض. فى نقص كالسيوم الدم، تفقد خلايا عضلة القلب Ca^{2+} إلى السائل خارج الخلوى، مما يؤدى إلى نبض ضعيف وغير منتظم وقد ينتج عنه توقف القلب فى الانبساط. ومع ذلك، فإن نقص كالسيوم الدم الشديد من المرجح أن يسبب الوفاة من خلال شلل العضلات الهيكلية والاختناق قبل أن تظهر التأثيرات القلبية (انظر القسم 7.4ب).

العوامل التى تؤثر على توفر الكالسيوم لها ليس فقط التأثيرات الكرونوتروبية التى تم فحصها سابقًا، بل أيضًا التأثيرات الإينوتروبية. لقد رأينا بالفعل أن النورإبينفرين يزيد من مستويات الكالسيوم فى الساركوبلازم؛ وبالتالى، فإنه يزيد ليس فقط من معدل ضربات القلب ولكن أيضًا من قوة الانقباض (كما يفعل الإبينفرين لنفس السبب). هرمون البنكرياس الجلوكاجون يُظهر تأثيرًا إينوتروبيًا من خلال تحفيز إنتاج cAMP؛ يُستخدم أحيانًا محلول الجلوكاجون وكلوريد الكالسيوم فى العلاج الطارئ للنوبات القلبية. الديجيتاليس، وهو منشط قلبى مستخلص من نبات الديجيتاليس، يرفع أيضًا مستوى الكالسيوم داخل الخلايا وقوة الانقباض؛ ويُستخدم لعلاج فشل القلب الاحتقانى.

فرط بوتاسيوم الدم له تأثير سلبى على قوة الانقباض لأنه يقلل من قوة جهد عمل عضلة القلب وبالتالى يقلل من إفراز Ca^{2+} إلى الساركوبلازم. يصبح القلب متوسعًا ومرنًا. ومع ذلك، فإن نقص بوتاسيوم الدم له تأثير ضئيل على الانقباضية.

لأعصاب العصب المبهم تأثير سلبى على قوة انقباض الأذينين، لكنها توفر تعصيبًا ضئيلًا جدًا للبطينين بحيث لا يكون لها تأثير كبير عليهما.

طبق ما تعرفه

افترض أن شخصًا لديه معدل ضربات قلب 70 نبضة فى الدقيقة وحجم ضربة 70 مل. ثم يقلل عامل سلبى على قوة الانقباض حجم الضربة إلى 50 مل. ما هو معدل ضربات القلب الجديد اللازم للحفاظ على نفس النتاج القلبى؟

الجدول 19.1 بعض اضطرابات القلب

التهاب التامور الحاد	التهاب التامور، أحيانًا بسبب العدوى أو العلاج الإشعاعى أو أمراض النسيج الضام، مما يسبب الألم واحتكاك الاحتكاك
اعتلال عضلة القلب	أى مرض فى عضلة القلب لا ينتج عن مرض الشريان التاجى أو خلل صمامى أو اضطرابات قلبية وعائية أخرى؛ يمكن أن يسبب توسع وفشل القلب، ترقق جدار القلب، أو سماكة الحاجز بين البطينين
التهاب الشغاف المعدى	التهاب الشغاف، عادة بسبب عدوى بكتيرية، خاصة المكورات العقدية و المكورات العنقودية
نقص تروية عضلة القلب	تدفق دم غير كافٍ إلى عضلة القلب، عادة بسبب تصلب الشرايين التاجية؛ يمكن أن يؤدى إلى احتشاء عضلة القلب
انصباب التامور	تسرب السوائل من التامور إلى تجويف التامور، غالبًا نتيجة التهاب التامور وأحيانًا يسبب انصباب القلب
عيوب الحاجز	فتحات غير طبيعية فى الحاجز بين الأذينين أو بين البطينين، مما يؤدى إلى تدفق الدم من الأذين الأيمن مباشرةً إلى الأذين الأيسر، أو عودة الدم من البطين الأيسر إلى البطين الأيمن؛ مما يسبب ارتفاع ضغط الدم الرئوى، صعوبة فى التنفس، وإرهاق؛ وغالبًا ما يكون مميتًا فى مرحلة الطفولة إذا لم يتم تصحيحه

يمكنك العثور على اضطرابات قلبية أخرى موصوفة فى الأماكن التالية:

الانصباب التامورى فى القسم المتعمق A.1؛ صوت احتكاك فى القسم 19.1c؛ الذبحة الصدرية و احتشاء عضلة القلب فى القسم المتعمق 19.1؛ الرجفان البطينى، الرجفان الأذينى، الانقباض البطينى المبكر، انسداد الحزمة، الانسداد القلبى الكلى، و توقف القلب فى القسم المتعمق 19.2؛ تضيق الصمامات، تدلى الصمام الميترالى، و نفخة القلب فى القسم المتعمق 19.3؛ فشل القلب الاحتقانى فى القسم 19.5d؛ بطء القلب و تسارع القلب فى القسم 19.6c؛ القلب الرئوى فى القسم 19.6d؛ و تصلب الشرايين، تصلب الشرايين الصغيرة، و مرض الشريان التاجى فى القسم المتعمق 19.4.

يل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

25. اشرح لماذا لا تؤثر الأعصاب المبهمة تأثيرًا انطروبيًا كبيرًا على عضلة البطين.
26. عرف النتاح القلبى بالكلمات ومع صيغة رياضية بسيطة.
27. وصف مركز القلب والتعصيب القلبى.
28. اشرح ما المقصود بالعوامل الزمنية)كرونوتروبيك(والإنتروبيك الإيجا بية والسلبية. قدم مثالين لكل منها.
29. كيف تؤثر التحميل القبلى، وقابلية الانقباض، والتحميل اللاح ق على حجم الضربة والنتاح القلبى؟
30. اشرح المبدأ وراء قانون فرانك-ستارلينغ للقلب. كيف يمنع هذ ا الآلية عادةً الاحتقان الرئوى أو الاحتقان الجهازى؟

يتدفق الدم عبر الدورة الرئوية ويصل إلى القلب الأيسر. مع زيادة معد ل ضربات القلب وحجم الضربة، يرتفع النتاح القلبى، مما يعوض عن زيادة العائد الوريدى.

يسبب برنامج مستمر من التمارين تضخم البطينين، مما يزيد م ن حجم الضربة. كما تم شرحه سابقًا، يسمح هذا للقلب بالنبض ببطء أكبر مع الحفاظ على نتاح قلبى طبيعى فى حالة الراحة. بعض الرياضى ين العالميين المدربين على التحمل لديهم معدلات ضربات قلب فى ا لراحة منخفضة تصل إلى 30 إلى 40 نبضة فى الدقيقة، ولكن بسبب حجم الضربة الأعلى، يكون النتاح القلبى فى الراحة لديهم تقريبًا مساو يًا لشخص غير مدرب. هؤلاء الرياضيون لديهم احتياطى قلبى أكبر، لذا يمكنهم تحمل جهد أكبر من الشخص الخامل.

تم مناقشة تأثيرات التقدم فى العمر على القلب فى الفصل 29، وتم سرد بعض أمراض القلب الشائعة فى الجدول 19.1. تم وصف اضطرابات الدم والأوعية الدموية فى الفصلين 18 و20.

نظرة أعمق 19.4



التطبيق السريرى

مرض الشريان التاجى

مرض الشريان التاجى)CAD(هو تغير تنكسى فى الشرايين التاجية ينتج عادةً عن التصلب العصيدى[34]— تراكم الدهون والأنسجة الميتة التى تسد التجويف وقد تسبب احتشاء عضلة القلب)النوبة القلبية( )الشكل 19.24(.

البداية، التقدم، والنتائج

ارتفاع ضغط الدم، السكرى، التدخين، وعوامل أخرى تمهد الطريق لـ CAD عن طريق إتلاف البطانة الداخلية)البطانة الوعائية(للشرايين. تلتصق الخلايا الوحيدة بالسطح التالف، وتخترق الأنسجة، وتتحول إلى خلايا بلعمية كبيرة. تنضم إليها هنا خلايا العضلات الملساء التى تهاجر من الطبقة الوسطى لجدار الوعاء الدموى. تمتص الخلايا البلعمية الكبيرة وخلايا العضلات الملساء الكوليسترول والدهون من الدم، لتتحول إلى خلايا رغوية. تشكل هذه بقعًا صفراء دهنية على جدار الشريان، تظهر لدى معظم الناس بحلول سن العشرين وأحيانًا حتى عند الرضع والأطفال. ه ذه البقع غير ضارة بحد ذاتها، لكنها تمتلك القدرة على النمو لتصبح لويحات مهددة للحياة، أو التصلبات العصيدية.35 مع تقدم التصلب العصيدى، يصبح ملته بًا ويتحلل جوهره إلى كتلة نخرية من الكوليسترول والخلايا البلعمية الميتة والم يتة جزئيًا، وخلايا العضلات الملساء، والخلايا الرغوية، مفصولة عن مجرى الدم بط بقة ليفية. يُطلق عليه الآن التصلب الليفى العصيدى. مع نموه، يمكن أن يسبب ا لتصلب الليفى العصيدى تشنجات فى الشريان التاجى. إذا كان تجويف الشريان قد ضاق بالفعل بسبب اللويحة وربما جلطة دموية، يمكن لهذه التشنجات أن تقط ع تدفق الدم وتسبب نوبات مؤلمة من الذبحة الصدرية.

الالتهاب المتقدم للجوهر يضعف بشكل خطير الطبقة الليفية؛ معظم النوبات القل بية القاتلة تنتج عن تمزق هذه الطبقات. هذا يكشف الصفائح الدموية للجوهر النخ رى للتصلب العصيدى، فتتكون جلطة دموية. يمكن للجلطة أن تسد ما تبقى من تجويف الشريان أو تنفصل وتستقر فى شريان أصغر فى الأسفل. هذا يقطع تدفق الدم إلى عضلة القلب، مما يؤدى إلى احتشاءها)موت الأنسجة المفاجئ(.

الشرايين التاجية ليست المكان الوحيد الذى يحدث فيه هذا؛ فالتصلبات العصيدية تتط ور أيضًا بشكل شائع فى الشرايين الكلوية، السباتية، الحرقفية، والدماغية.

طريقة أخرى يمكن أن يسبب بها التصلب العصيدى الوفاة هى أن يصبح الشر يان الملتهب أكثر تصلبًا بسبب نسيج الندبة وترسبات الكالسيوم، مما يحول الت صلبات العصيدية إلى لويحات صلبة معقدة، هشة وحتى مقرمشة عند لمسها أو قطعها بواسطة الجراح. اللويحات المتكلسة هى أحد أسباب تصلب الشرايين،[36] تصلب الشرايين." كما هو موضح فى الفصل التالى، تصلب الشرايين يؤدى إلى زيادات مفرطة فى ضغط الدم يمكن أن تضعف أو تمزق الشرايين الصغيرة فى الأسفل، مع عواقب مثل السكتة الدماغية أو فشل الكلى.

المخاطر، الوقاية، والعلاج

عامل الخطر الأساسى لمرض الشريان التاجى هو زيادة البروتينات الدهنية منخف ضة الكثافة)LDLs(فى الدم مع وجود مستقبلات LDL معطوبة فى جدران الشراي ين. LDLs هى قطرات مغطاة بالبروتين من الكوليسترول والدهون والأحماض الده نية الحرة والفوسفوليبيدات)موصوفة فى "الكوليسترول والبروتينات الدهنية فى ا لمصل" فى القسم 26.1ح(. معظم الخلايا تحتوى على مستقبلات LDL تمكنها من امتصاص هذه القطرات من الدم لكى تتمكن من استقلاب الكوليسترول والدهون الأخرى. يمكن أن يحدث مرض الشريان التاجى عندما تكون مستقبلات LDL فى ا لخلايا الشريانية معطوبة بحيث "لا تعرف متى تتوقف"، فتقوم الخلايا بامتصاص وتراكم الكوليسترول الزائد.

بعض عوامل الخطر لمرض الشريان التاجى لا يمكن تجنبها — مثل الوراثة وال شيخوخة. ومع ذلك، فإن معظم عوامل الخطر قابلة للوقاية — السمنة، التدخين، قلة التمارين، والشخصية المليئة بالقلق والتوتر والعدوانية، وكلها تساهم فى ارتفا ع ضغط الدم الذى يبدأ تلف الشرايين. النظام الغذائى، بالطبع، مهم جداً. تناول الد هون الحيوانية يرفع مستوى LDL ويقلل عدد مستقبلات LDL. الأطعمة الغنية بالأ لياف القابلة للذوبان)مثل الفاصوليا، التفاح، ونخالة الشوفان(تخفض الكوليسترو ل فى الدم من خلال آلية مثيرة للاهتمام:

الكبد عادةً يحول الكوليسترول إلى أحماض الصفراء ويفرزها فى الأمعاء الدقيقة لم ساعدة هضم الدهون. تُعاد امتصاص أحماض الصفراء فى جزء أبعد من الأمعاء و تُعاد تدويرها إلى الكبد لإعادة الاستخدام. ومع ذلك، فإن الألياف القابلة للذوبان تر تبط بأحماض الصفراء وتحملها إلى الخارج مع البراز. لتعويضها، يقوم الكبد بتصنيع المزيد، مما يستهلك المزيد من الكوليسترول.

غالباً ما يُعالج مرض الشريان التاجى بواسطة ترقيع مجازة الشريان التاجى)CABG(.

تُستخدم أجزاء من الوريد الصافن الكبير فى الساق أو الشرايين الصدرية الصغيرة لبناء تحويلة حول الانسداد فى الشريان التاجى. فى رأب الأوعية بالبالون،[37] يُدخل قسطرة رفيعة فى الشريان التاجى ثم يُنفخ بالون فى طرفها ليضغط اللويحة العص يدية على جدار الشريان، موسعاً التجويف. فى رأب الأوعية بالليزر، يرى الجراح داخ ل الشريان المريض بواسطة قسطرة مضيئة ويبخر اللويحة العصيدية بالليزر. رأب ا لأوعية أقل خطورة وتكلفة من جراحة المجازة، لكنه غالباً ما يتبعه إعادة التضيق — حيث تنمو اللويحات العصيدية مرة أخرى وتسد الشريان بعد عدة أشهر. إدخال أنبوب يسمى الدعامات فى الشريان يمكن أن يمنع إعادة التضيق.

34 *athero* = دهون، دهنية؛ *sclerosis* = تصلب

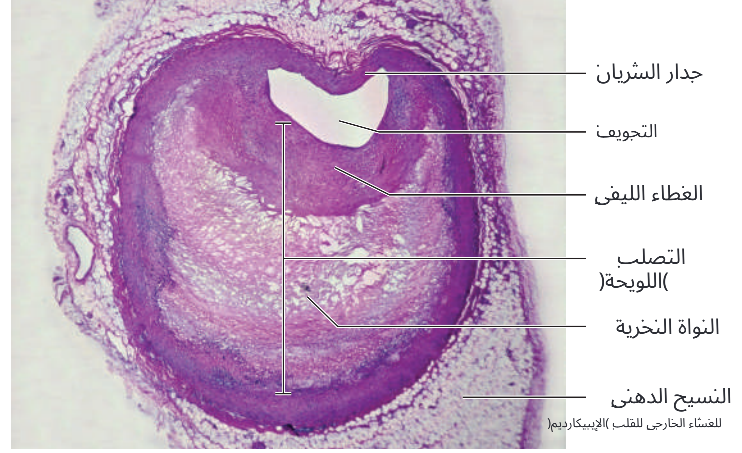
35 *athero* = دهون، دهنية؛ *oma* = كتلة، ورم

36 *الشريان* = الشريان؛ *التصلب* = التصلب

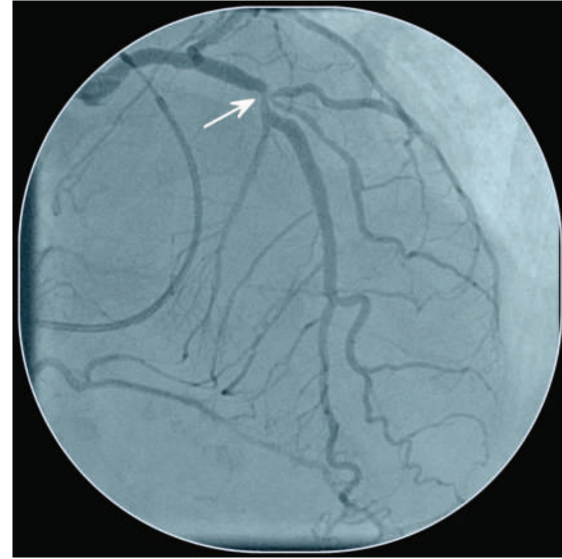
37 *أنجيو* = وعاء دموى؛ *بلاستى* = إصلاح جراحى



)أ(



)ب(



)ح(

الشكل 19.24 مرض الشريان التاجى.)أ(التصلبات فى الشرايين الحرقفية المشتركة المصابة)ليست التاجية(.)ب(مقطع عرضى لشريان مع تصلب الشرايين التاجية المتقدم. معظم التجويف الأصلى مسدود بواسطة لويحة معقدة. التجويف مُقلص إلى مساحة صغيرة يمكن أن تُغلق بسهولة بواسطة جلطة دموية ثابتة أو متحركة)تخثر أو صمة دموية على التوالى(أو بسبب تضيق الأوعية.
)ح(تصوير الأوعية التاجية يطهر انسداد بنسبة 60%، عند السهم، فى الشريان الأمامى بين البطينين)الشريان الأمامى النازل الأيسر، LAD(.

أ: البروفسور م. فورست، CNRI/Science Source؛ ب: إد ريشكى/ستون/صور غيتى؛ ح: كاليفا/Shutterstock

دراسة دليل

قيّم نتائج تعلمك

لاختبار معرفتك، ناقش المواضيع التالية مع شريك دراسة أو كتابة، ويفضل من الذاكرة.

19.1 نظرة عامة على الجهاز القلب والأوعية الدموية

1. قسمان فرعيان للجهاز القلبى الوعائى ووظائفهما respective
2. أسماء الأوعية الدموية الكبرى المتصلة مباشرة بالقلب، وعلاقاتها بغرف القلب
3. الموقع الدقيق للقلب، حجمه، قاعدته وقمته
4. تشريح ووظيفة التامور وسائل التامور

19.2 التشريح الكلى للقلب

1. ثلاث طبقات لجدار القلب والاختلافات النسيجية بينها
2. السماكة النسبية لعضلة القلب فى الحجرات المختلفة؛ الأهمية الوظيفية لتلك الاختلافات؛ وأهمية الدوامة فى القلب
3. تركيب ووظيفة الهيكل الليفى للقلب
4. تشريح ووظائف الأذينين والبطينين؛ الحواجز الداخلية التى تفصل بين الحجرات الأربع والتجاويف الخارجية التى تحدد حدود الحجرات
5. أسماء ومرادفات الصمامات الأربع للقلب
6. الاختلافات الهيكلية بين الصمامات؛ تشريح ووظيفة العضلات الحليمية والأوتار الوترية
7. مسار تدفق الدم عبر حجرات القلب وصماماته
8. تشريح الشرايين التاجية وفروعها الرئيسية
9. أسباب احتشاء عضلة القلب (MI) وكيف يقلل الدوران الجانبى فى الشرايين التاجية من خطر احتشاء عضلة القلب
10. لماذا يكون تدفق الدم فى الشريان التاجى أكبر عندما يرتاح القلب مقارنة عندما ينقبض، على عكس نظام الشرايين فى معظم أنحاء الجسم
11. تشريح الأوردة الرئيسية التى تصرف دم عضلة القلب، إلى أين يذهب هذا الدم، وكيف تُكمل الأوردة الرئيسية بالأوردة القلبية الصغيرة

19.3 عضلة القلب وجهاز التوصيل القلبى

1. الخصائص الهيكلية لخلايا عضلة القلب (الخلايا القلبية)، كيف تختلف عن عضلة الهيكل العظمى، وكيف ترتبط بالوظيفة الفريدة لعضلة القلب
2. خصائص عضلة القلب المتعلقة باعتماده شبه الحصرى على التنفس الهوائى
3. مكونات جهاز التوصيل القلبى والمسار الذى تسلكه الإشارات الكهربائية عبر القلب

19.4 النشاط الكهربائى والانقباضى للقلب

1. معانى *الانقباض* و *الانبساط*
2. خصائص إيقاع الجيب القلبى؛ بعض أسباب الانقباض البطينى المبكر؛ لماذا قد يسيطر بؤرة خارجية (ectopic focus) على الإيقاع؛ كيف يختلف إيقاع العقدة عن إيقاع الجيب؛ والمصطلح العام لأى إيقاع قلبى غير طبيعى
3. الآلية التى تسبب استقطاب خلايا العقدة الجيبية (SA node) بشكل إيقاعى؛ رسم بيانى لمسار الزمن والفولتية لإشارات منظم النبضات؛ عدد مرات تكرار ذلك فى قلب فى حالة راحة طبيعية؛ ودور قنوات الأيونات المعلقة وتدفقات الأيونات المحددة الداخلة والخارجة فى خلق إيقاع العقدة
4. انتشار الإثارة عبر الأذينين، العقدة الأذينية البطينية، الحزمة الأذينية البطينية وفروع الحزمة، والفروع تحت البطينية؛ تغير سرعات التوصيل فى نقاط مختلفة على طول هذا المسار، ولماذا هذه التغيرات مهمة؛ والعلاقة بين الانقباض الأذينى والبطينى مع موجة الإثارة المتنقلة
5. طريقة التواء انقباض البطين وأهمية الحبال الوترية فى منع تدلى الصمامات
6. جهد الراحة لخلية عضلة القلب؛ أفعال قنوات الصوديوم والكالسيوم والبوتاسيوم ذات البوابات، وحركات هذه الأيونات فى توليد جهود فعل عضلة القلب؛ كيف ولماذا يختلف شكل جهد فعل عضلة القلب عن جهد فعل العصبون؛ وكيف يدعم الهضبة وفترة الانكسار الطويلة غير المعتادة لجهود فعل عضلة القلب فعالية ضخ القلب
7. تخطيط القلب الكهربائى وما يحدث فى القلب خلال كل موجة من موجات تخطيط القلب

19.5 تدفق الدم، أصوات القلب، والدورة القلبية

1. المبدأ الذى يعمل به مقياس ضغط الدم (سفيغمومانومتر)، ولماذا يُعبر عن ضغط الدم بوحدة مليمتر زئبق (مم زئبق)
2. علاقة حجم السائل والضغط والتدفق، وكيف يرتبط ذلك بتدفق الدم خلال توسع وانقباض حجرات القلب
3. الآليات التى تفتح وتغلق صمامات القلب
4. تعريف الدورة القلبية وأسماء مراحلها الأربع
5. فى كل مرحلة من مراحل الدورة القلبية، أى الحجرات تُستقطب أو تُعاد استقطابها، تنقبض أو ترتخى؛ ماذا يفعل كل زوج من الصمامات؛ ما يظهر فى تخطيط القلب الكهربائى؛ ما يسبب أصوات القلب؛ هل يتحرك الدم إلى داخل أو خارج الأذينين أو البطينين وأين يذهب عند ضخه؛ وتغيرات حجم الدم والضغط فى الأذين الأيسر، البطين الأيسر، والشريان الأورطى
6. المدة النموذجية، بالثوانى، للانقباض الأذينى، الانقباض البطينى، وفترة السكون، وكيف يمكن حساب معدل ضربات القلب من هذه القيم
7. حجم الدم الموجود عادة فى كل بطين عند اكتمال ملئه؛ الحجم الذى يُضخ عندما ينقبض البطين؛ النسبة المئوية للدم البطين الذى يُضخ؛ الكمية التى تبقى بعد انتهاء الانقباض؛ وأسماء هذه المتغيرات الأربعة
8. لماذا من الضرورى أن يضخ كل بطين نفس متوسط كمية الدم؛ ماذا يحدث إذا ضخ أى من البطينين كمية أكثر من الآخر لفترة ممتدة من الزمن

19.6 تنظيم النتاج القلبى

1. مسارات التعصيب الودى واللاودى للقلب
2. معنى *النتاج القلبى* وكيفية حسابه من معدل ضربات القلب وحجم الضربة القلبية
3. معدل ضربات القلب الطبيعى أثناء الراحة وكيف يتغير مع التقدم فى العمر

دليل الدراسة

15. كيف تتوافق قاعدة فرانك-ستارلينغ للقلب مع حجم الضربة القلبية مع العائد الوريدى
16. التعريفات والتأثيرات القلبية لـ *العوامل الإيجابية والسلبية المؤثرة على قوة الانقباض*
17. كيف يؤثر الكالسيوم والبوتاسيوم على انقباض عضلة القلب
18. كيف تؤثر النورإبينفرين، الجلوكاجون، والديجيتاليس على الانقباض
19. كيف تقلل بعض الأمراض من النتاج القلبى عن طريق زيادة المقاومة اللاحقة
20. الآليات التى من خلالها يزيد التمرين النتاج القلبى
21. لماذا قد يكون لدى الرياضيين المدربين جيدًا معدلات ضربات قلب منخفضة بشكل غير معتاد فى الراحة

9. مراكز التحكم فى جذع الدماغ التى تنظم معد ل ضربات القلب وطريقة عملها
10. كيف تؤثر مستقبلات الوضع)الحسية الذاتية(، ومستقبلات الضغ ط، ومستقبلات الكيمياء على معدل ضربات القلب
11. تأثيرات النورإبينفرين والأسيتيل كولين على م عدل ضربات القلب وآليات عملهما
12. الهرمونات والأدوية التى تؤثر على معدل ضر بات القلب وآليات عملها
13. تأثير مستويات البوتاسيوم والكالسيوم على م عدل ضربات القلب وآليات عملها
14. معانى*التحميل القبلى، وقابلية الانقباض،والتحم يل اللاحق*،وكيف يؤثر كل منها على حجم الضر بة القلبية

4. أسباب ومصطلحات سرعات ضربات القلب السريعة والبطيئة غير الطبيعية أثناء الراحة
5. تعريفات وتأثيرات القلب للعوامل الكرونوترو بية الإيجابية والسلبية
6. تأثير الجهاز العصبى الودى والجهاز العصبى ا للاودى على معدل ضربات القلب
7. نطاق معدل ضربات القلب المرتبط بأقصى ناتج قلبى، ولماذا لا يرتفع الناتج القلبى أكثر عن د معدلات ضربات قلب أسرع
8. معدل الإطلاق الذاتى لعقدة الجيب الأذينى وكيف يحافظ ال نغمة المبهمة عادةً على معدل ضربات القلب فى حالة الرا حة أقل من هذا المعدل

اختبار استرجاعك

الإجابات فى الملحق أ

10. الأدوية التى تزيد من تقلص عضلة القلب لها تأثير______ .
   أ. عضلى المنشأ
   ب. تأثير سلبى على القوة الانقباضية
   ج. تأثير إيجابى على القوة الانقباضية
   د. تأثير سلبى على التردد الزمنى
   هـ. موجب الكرونوتروبى
11. انقباض أى تجويف فى القلب يُسمى ______ واسترخاؤه يُسمى ______.
12. مسار الدورة الدموية من الشريان الأورطى إلى الأوردة الأجوفة هو الدورة______ الدموية.
13. الشريان المحيطى يسير فى أخدود يُسمى ______.
14. جهد منظم ضربات القلب لخلايا العقدة الح يبية الأذينية ينتج عن التدفق البطىء لـ______.
15. تمر الإشارات الكهربائية بسرعة من خلية ع ضلة القلب إلى أخرى عبر ______ فى الأقراص ا لمتداخلة.
16. إعادة استقطاب البطينين تُنتج ______ فى تخطيط القلب الكهربائى.
17. الأعصاب التى تعصب القلب و ال______ تميل إلى تقليل معدل ضربات القلب.
18. موت نسيج القلب بسبب نقص تدفق الدم يُعرف عادةً بالنوبة القلبية، ولكن يُطلق عليه سريريًا______.
19. الدم فى حجرات القلب مفصول عن عضلة القلب بواسطة غشاء رقيق يسمى______.
20. قانون فرانك-ستارلينغ للقلب يشرح لماذا ______ للبطين الأيسر هو نفس ذلك للبطين الأيمن.

5. هناك______ الأوردة الرئوية تفرغ فى الأذين الأيمن للقلب.
   أ. لا
   ب. واحد
   ج. اثنان
   د. أربعة
   هـ. أكثر من أربعة
6. جميع ما يلى هى عوامل إيجابية للكرونوترُوبية ما عدا
   أ. الكافيين.
   ب. هرمون الغدة الدرقية.
   ج. النورإبينفرين.
   د. أسيتيل كولين.
   هـ. نقص كالسيوم الدم.
7. تنقبض الأذينات خلال
   أ. الصوت القلبى الأول.
   ب. الصوت القلبى الثانى.
   ج. مركب QRS.
   د. مقطع PQ.
   هـ. مقطع ST.
8. لا يطهر عضل القلب التتانوس لأنه يحتوى على
   أ. قنوات Ca^{2+} سريعة.
   ب. شبكة ساركوبلازمية قليلة.
   ج. فترة ارتجاعية مطلقة طويلة.
   د. مشابك كهربائية.
   هـ. تنفس هوائى حصرى.
9. الدم المحتوى فى البطين أثناء الاسترخاء متساوى الحجم هو
   أ. حجم نهاية الانقباض.
   ب. حجم الانبساط النهائى.
   ج. حجم الضربة.
   د. نسبة القذف.
   هـ. لا شىء من هذه؛ البطين يكون فارغًا حينها.

1. يشمل نظام التوصيل القلبى كل ما يلى ما عدا
   أ. عقدة الجيب الأذينى)SA node(.
   ب. عقدة الأذينى البطينى)AV node(.
   ج. فروع الحزمة.
   د. الأوتار الوترية.
   هـ. الفروع تحت البطينية.
2. عندما يمر الدم عبر الصمام الميترالى، فإنه ينتقل من ______ إلى______.
   أ. الأذين الأيمن؛ البطين الأيمن.
   ب. الأذين الأيسر؛ البطين الأيسر.
   ج. البطين الأيمن؛ الجذع الرئوى.
   د. البطين الأيمن؛ الشريان الأورطى.
   هـ. البطين الأيسر؛ الشريان الأورطى.
3. افترض أن أحد بطينى قلب طفل لديه حجم نهاية الانب ساط)EDV(يبلغ 90 مل، وحجم نهاية الانقباض)ESV(يبلغ 60 مل، ومعدل ضخ القلب 2.55 لتر/دقيقة. ما هو حجم الضربة القلبية)SV(، ونسبة القذف)EF(، ومع دل ضربات القلب)HR(للطفل؟
   أ. SV = 60 مل؛ EF = 33٪؛ HR = 85 نبضة فى الدقيقة
   ب. SV = 30 مل؛ EF = 60٪؛ HR = 75 نبضة فى الدقيقة
   ج. SV = 150 مل؛ EF = 67٪؛ HR = 42 نبضة فى الدقيقة
   د. SV = 30 مل؛ EF = 33٪؛ HR = 85 نبضة فى الدقيقة
   هـ. لا توجد معلومات كافية لحساب هذه القيم.
4. معدل ضربات القلب 45 نبضة فى الدقيقة وغياب مو جات P يشير إلى
   أ. ضرر فى العقدة الجيبية الأذينية)SA node(.
   ب. الرجفان البطينى.
   ج. القصور الرئوى القلبى.
   د. النبضات الزائدة.
   هـ. انسداد القلب.

دراسة دليل

بناء مفرداتك الطبية

الإجابات فى الملحق أ

اذكر معنى كل عنصر من عناصر الكلمة، وقدم مصطلحًا طبيًا من هذا الفصل يستخدمه أو تعديلًا طفيفًا له.

1. أتريو-
2. برادى-
3. كارْديو-
4. كورونو-
5. لون-
6. بابيلو-
7. نصف-
8. تاش-
9. فاسو-
10. فينترو-

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

الإجابات فى الملحق أ

اشرح بإيجاز لماذا كل من العبارات التالية خاطئة، أ و أعد صياغتها لتصبح صحيحة.

1. إمداد الدم إلى عضلة القلب هو الدورة التاجية؛ وكل شيء آخر يُسمى الدورة الجهازية.
2. الصمامات ذات الاتجاه الواحد تمنع الانقباض ا لأذينى من دفع الدم للعودة إلى الأوردة الأجوفة و الأوردة الرئوية.
3. لا يمكن لأى دم دخول البطينين حتى تنقبض الأذينان.
4. تقلل الأعصاب المبهمة من معدل ضربات ال قلب وقوة انقباض البطين.
5. مستوى مرتفع من ثانى أكسيد الكربون فى الدم 2 ودرجة حموضة منخفضة تبطئ معدل ضربات القلب.
6. يحدث الصوت القلبى الأول فى وقت موجة P فى تخطيط القلب الكهربائى.
7. إذا تم قطع جميع الأعصاب المتصلة بالقلب، سيتوقف القلب عن النبض فورًا.
8. إذا تم إغلاق الشريانين الرئويين، فسيتبع ذلك وذمة رئوية قريبًا.
9. على عكس عضلات الهيكل العظمى، لا تمتلك خلايا عضلة القلب جهد غشاء راحة مستقر.
10. تخطيط القلب الكهربائى هو تسجيل لإمكا ن العمل لخلية عضلة القلب.

اختبار فهمك

1. فيراباميل هو مثبط لقنوات الكالسيوم يُستخدم لعلاج ارتفاع ضغط الدم. يقوم بحجب قنوا ت الكالسيوم البطيئة بشكل انتقائى. هل تـ توقع أن يكون له تأثير إيجابى أم سلبى على القوة الانقباضية؟ اشرح. (راجع التعمق 3.1 ل مراجعة مثبطات قنوات الكالسيوم).
2. لعلاج تسرع القلب مؤقتًا واستعادة إيقاع الجيـ ب الطبيعى، قد يقوم الطبيب بتدليك شريان ا لسباتى للمريض بالقرب من زاوية الفك السفلى. اقترح آلية يمكن أن يكون لهذا العلا ج التأثير المرغوب.
3. بيكى، تبلغ من العمر سنتين، وُلدت بثقب فى الحاجز بين البطينين (عيب الحاجز البطي نى، أو VSD). نظرًا لأن ضغط الدم فى البطين الأيسر أعلى بكثير من ضغط الدم فى البطين ا لأيمن، توقع تأثير عيب الحاجز البطينى ع لى ضغط الدم الرئوى لدى بيكى، وضغط الد م الجهازى، والتغيرات طويلة الأمد فى جدران ا لبطين.
4. فى الانقباض البطينى، يبدأ البطين الأيسر أ ولاً فى الانقباض، لكن البطين الأيمن هو الأو ل فى ضخ الدم. بخلاف

الحقيقة الواضحة أن الصمام الرئوى يفتح ق بل الصمام الأورطى، كيف يمكنك تفسير هذا ا لاختلاف؟

5. فى اعتلال عضلة القلب التوسعى للبط ين الأيسر، يمكن أن يتضخم البطين بشكل كبير. اشرح لماذا قد يؤدى هذا إلى ارتجاع الدم عبر الصمام التاجى (تدفق الدم من البطين إلى الأذين الأيسر) أثناء الانقباض ا لبطينى.

CHAPTER 20

الجهاز الدوريالأوعية ال دموية والدورة الد موية



شبكات الشعيرات الدموية

Biophoto Associates/Science Source

مخطط الفصل

رؤى أعمق



الوحدة 9: الجهاز القلبى الوعائى

نعلم الآن، بالطبع، أنه كان على حق. تُعد قضية هارفى واحدة من أكثر الق
ضايا إثارة فى تاريخ الطب الحيوى، لأنها تُظهر كيف تُطيح العلوم التجريبية
بالنظريات القديمة وتولد نظريات أفضل، وكيف يمكن للعقل السليم والولا
ء الأعمى للسلطة أن يعوقا قبول الحقيقة. ولكن الأهم من ذلك، تمثل مسا
همات هارفى ميلاد الفيزيولوجيا التجريبية.

20.1 التشريح العام للأوعية الدموية

الأهداف التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف هيكل الوعاء الدموى؛
ب. وصف أنواع الشرايين، الشعيرات الدموية، والأوردة؛
ج. تتبع المسار العام الذى يسلكه الدم عادةً من القلب والعودة مرة أخرى؛ و
د. وصف بعض التغيرات فى هذا المسار.

هناك ثلاث فئات رئيسية من الأوعية الدموية: الشرايين، الأوردة، وال
شعيرات الدموية)الشكل 20.1(. تُعرف الشرايين بأنها الأوعية الصاد
رة فى الجهاز القلبى الوعائى — أى الأوعية التى تحمل الدم بعيدًا عن ا
لقلب. تُعرف الأوردة بأنها الأوعية الواردة التى تحمل الدم مرة أخرى إ
لى القلب.)الشرايين والأوردة لا تُعرف بناءً على ما إذا كان الدم فيها غ
نيًا أو فقيرًا بالأكسجين؛ انظر النقاش لاحقًا.(الشعيرات الدموية هى أ
وعية مجهرية رقيقة الجدران تربط أصغر الشرايين بأصغر الأوردة.

20.1أ جدار الوعاء الدموى

بعيدًا عن موقعها العام واتجاه تدفق الدم، تختلف الفئات الثلاث من ا
لأوعية الدموية أيضًا فى التركيب النسيجى لجدرانها. تتكون جدران ال
شرايين والأوردة من ثلاث طبقات تُسمى *الطبقات*)الشكل 20.2(:

1. الطبقة الداخلية)الطبقة الباطنة(تبطن داخل الوعاء وتت
صل بالدم. تتكون من طهارة حرشفية بسيطة تُسمى البطا
نة تغطيها غشاء قاعدى وطبقة رقيقة من النسيج الضام الرخ
و؛ وهى مستمرة مع بطانة القلب)الإندوكارديوم(.

تعمل البطانة كحاجز نفاذى انتقائى للمواد التى تدخل أو تخرج
من مجرى الدم؛ تفرز مواد كيميائية تحفز توسع أو انقباض ا
لوعاء؛ وعادةً ما تمنع التصاق خلايا الدم والصفائح الدموية بحي
ث تتدفق بحرية دون الالتصاق بجدار الوعاء. ومع ذلك، عندما
تتضرر البطانة، قد تلتصق الصفائح الدموية بها وتشكل جلط
ة دموية. عندما تلتهب الأنسجة المحيطة بالوعاء، تنتج البطانة
جزيئات التصاق خلوية تحتجز الكريات البيضاء وتجعلها تلتصق
بجدار الوعاء.

تهاجر الكريات البيضاء بعد ذلك عبر الجدار وتتجمع فى
الأنسجة حيث تكون أفعالها الدفاعية مطلوبة.

مراجعة

- يجب مراجعة مفهومى نقطة التوازن الداخلى والتوازن الديناميكى)انظر القسم 1.6c(كخلفية لفهم التحكم فى ضغط الدم.
فهم التحكم فى ضغط الدم.
- تتحكم الدورة الدموية بمبدأ التدفق عبر تدرجات الضغط)انظر القسم 1.6e(.
- تعتمد مبادئ حجم الدم والضغط والتدفق التى نوقشت فى هذا الفصل على الأسباب الموضحة فى القسم 18.1d فيما يتعلق بالتوتر الاسموزى ولزوجة الدم.
- الإلمام بانقباض وانبساط القلب)انظر القسم 19.4(ضرورى لفهم ضغط الدم فى هذا الفصل.
- يستند تبادل المواد بين شعيرات الدم والأنسجة المحيطة إلى مبادئ ا
لترشيح، والتناضح والضغط الاسموزى، والانتشار، والعبور الخلوى التى تم تقديمها فى القسم 3.3.
- تُوصف الأوعية الدموية للأطراف فى هذا الفصل مع الإشارة إلى حجرات العضلات)انظر القسم 10.1ب، الشكل 10.3(وغشاء الطعم بين العظام)انظر الأقسام 8.4ب، 8.5ب؛ الأشكال 8.35, 8.41).

المسار الذى يسلكه الدم بعد خروجه من القلب كان نقطة ارتباك لعدة
قرون. فى الطب الصينى منذ عام 2650 قبل الميلاد، كان يُعتقد أن الد
م يتدفق فى دائرة كاملة حول الجسم ويعود إلى القلب، تمامًا كما نعرف ال
يوم. ومع ذلك، جادل الطبيب الرومانى كلوديوس جالينوس)129–حوالى 1
99(بأنه يتدفق ذهابًا وإيابًا فى الأوردة، مثل الهواء فى أنابيب الشعب الهوا
ئية. كان يعتقد أن الكبد يستقبل الطعام مباشرة من المرىء ويحوّله إلى دم،
وأن القلب يضخ الدم عبر الأوردة إلى جميع الأعضاء الأخرى، وأن تلك الأع
ضاء تستهلكه. وكان يُعتقد أن الشرايين تحتوى فقط على "روح حيوية" غام
ضة.

كان الرأى الصينى صحيحًا، لكن أول برهان تجريبى على ذلك لم يظهر إ
لا بعد 4000 عام أخرى. درس الطبيب الإنجليزى ويليام هارفى)1578–16
57(ملء القلب وتفريغه فى الثعابين، وربط الأوعية الدموية فوق وتحت ا
لقلب لمراقبة تأثير ذلك على ملء القلب وإخراجه، وقاس إخراج القلب فى
مجموعة متنوعة من الحيوانات الحية وقدره فى البشر. وخلص إلى أن)1(ا
لقلب يضخ دمًا أكثر فى نصف ساعة مما يوجد فى الجسم بأكمله،)2(لا ي
تم استهلاك كمية كافية من الطعام لتفسير الإنتاج المستمر لهذا القدر الك
بير من الدم، وبالتالى)3(الدم لا يُستهلك من قبل الأعضاء، بل يعود إلى ال
قلب مرارًا وتكرارًا. لم يستطع تفسير كيف يحدث ذلك، لأن المجهر لم يكن
قد تطور بعد إلى النقطة التى مكنت أنتونى فان ليفينهوك)1632–1723(
ومارسيلو مالبيغى)1628–94(من اكتشاف الشعيرات الدموية التى تربط أ
صغر الشرايين بالأوردة.

كان عمل هارفى أول دراسة تجريبية لفيزيولوجيا الحيوان ومعلمًا هامًا
فى تاريخ علم الأحياء والطب. لكن الأفكار الراسخة لأرسطو وجالينوس فى ا
لمجتمع الطبى، وغرابة فكرة إجراء تجارب على الحيوانات الحية، جعلت معا
صرى هارفى يرفضون أفكاره. فى الواقع، اعتبره بعضهم مجنونًا لأن استن
تاجه كان يتعارض مع المنطق السليم — إذا كان الدم يُعاد تدويره باستمرار
ولا يُستهلك من قبل الأنسجة، فبأى غرض يمكن أن يخدم؟

3. الطبقة الخارجية (tunica adventitia[1]) هى الطبقة الخارجية الأبعد. تتكون من نسيج ضام رخو غالبًا ما يندمج مع نسيج الأوعية الدموية المجاورة أو الأعصاب أو الأعضاء الأخرى. تثبت الوعاء الدموى فى الأنسجة المجاورة وتوفر ممرًا للأعصاب الصغيرة والأوعية اللمفاوية والأوعية الدموية الصغيرة التى تزود أنسجة الأوعية الأكبر.

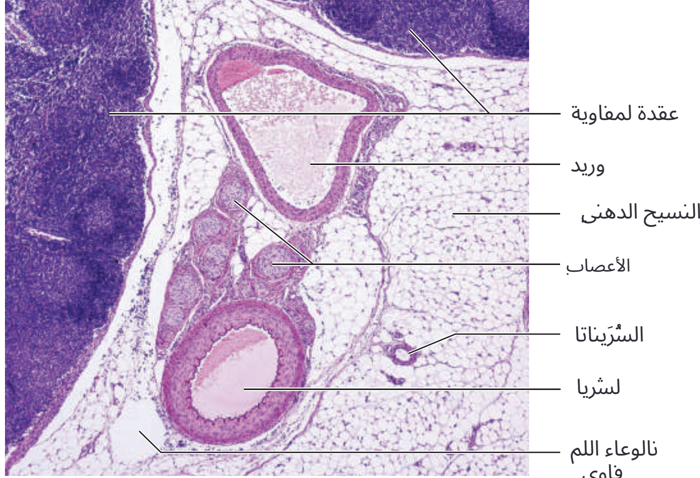
جميع الأوعية الدموية تحتاج إلى التغذية، التهوية، وخدمات إزالة الفضلات لأنسجتها الخاصة، والشرايين والأوردة المتوسطة والكبيرة لا تلبى هذه الاحتياجات بالكامل من خلال الدم المتدفق فيها. يتدفق الدم بسرعة كبيرة وجدار الوعاء سميك جدًا بحيث لا يسمح بتبادل كيميائى كافٍ بين الدم وسائل الأنسجة. لذلك، تخترق أوعية أصغر السطح الخارجى للأوعية الكبيرة، وتصل عبر الطبقة الخارجية (tunica externa)، وتتفرع إلى شعيرات دموية تزود الأنسجة الأعمق للوعاء الكبير. تُسمى شبكة الأوعية الصغيرة التى تخدم الوعاء الكبير **vasa vasorum**[2] (فاى-زا فاى-سوروم). وهى أكثر وضوحًا فى الطبقة الخارجية لأن التنظيم الفضفاض للأنسجة هنا لا يخفيها عن النظر كما تفعل أنسجة الطبقة الوسطى (tunica media).

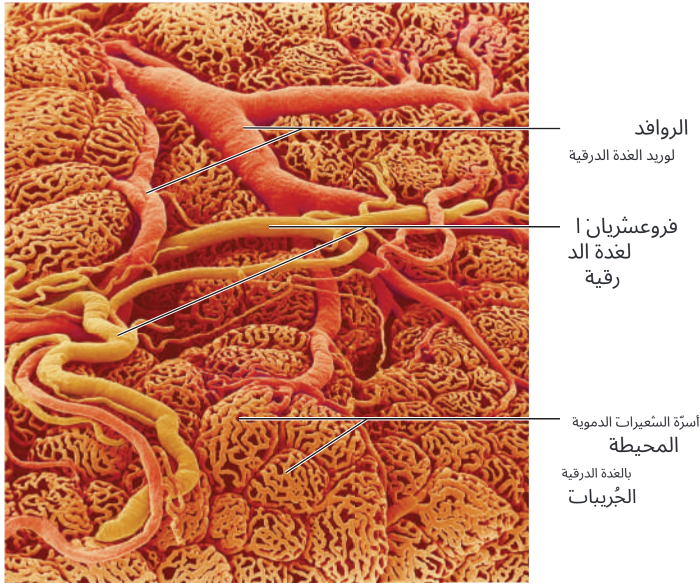
تزود الدم على الأقل للنصف الخارجى من جدار الوعاء. يُعتقد أن أنسجة النصف الداخلى تتغذى عن طريق الانتشار من الدم فى التجويف الداخلى (lumen).

20.1ب الشرايين

تُعتبر الشرايين *أوعية المقاومة* فى الجهاز القلبى الوعائى لأنها تمتلك بنية نسيجية قوية ومرنة نسبيًا. كل نبضة قلب تخلق دفعة ضغط فى الشرايين عندما يُضخ الدم فيها، مما يجعل الشرايين تنتفخ قليلاً. يمكنك الشعور بذلك عند تحسس نبض شخص ما عند المعصم. الشرايين مبنية لتحمل هذا الضغط. وبما أنها أكثر عضلية من الأوردة، فإنها تحتفظ بشكلها الدائرى حتى عندما تكون فارغة، لذا تظهر دائرية أو بيضاوية نسبيًا فى مقاطع الأنسجة. تُقسم إلى ثلاث فئات حسب الحجم، ولكن بالطبع هناك انتقال تدريجى من فئة إلى أخرى.

1. **الشرايين الناقلة (المرنة أو الكبيرة) هى الأكبر حجمًا.** تشمل الأمثلة الشريان الأورطى، الشريان السباتى العام، الشريان تحت الترقوى، الجذع الرئوى، والشرايين الحرقفية العامة. تحتوى على طبقة من النسيج المرن تسمى الغشاء المرن الداخلى عند الحدود بين الطبقة الداخلية (tunica interna) والطبقة الوسطى (media)، ولكن من الصعب تمييزها مجهريًا عن الطبقة الوسطى. تتكون الطبقة الوسطى من 40 إلى 70 طبقة من صفائح مرنة، مثقبة مثل شرائح الجبن السويسرى الملفوفة فى أنبوب، تتناوب مع طبقات رقيقة من العضلات الملساء، الكولاجين، والألياف المرنة. تسمح الثقوب بمرور الأوعية الدموية الصغيرة (vasa vasorum) والأعصاب عبر جميع طبقات الوعاء، ولخلايا العضلات الملساء بالتواصل مع بعضها البعض عبر الوصلات الفجوية (gap junctions). هناك غشاء مرن خارجى عند الحدود بين الطبقة الوسطى والخارجية، ولكنه أيضًا من الصعب رؤيته. الطبقة الخارجية (tunica externa) قليلة فى الأكبر حجمًا.





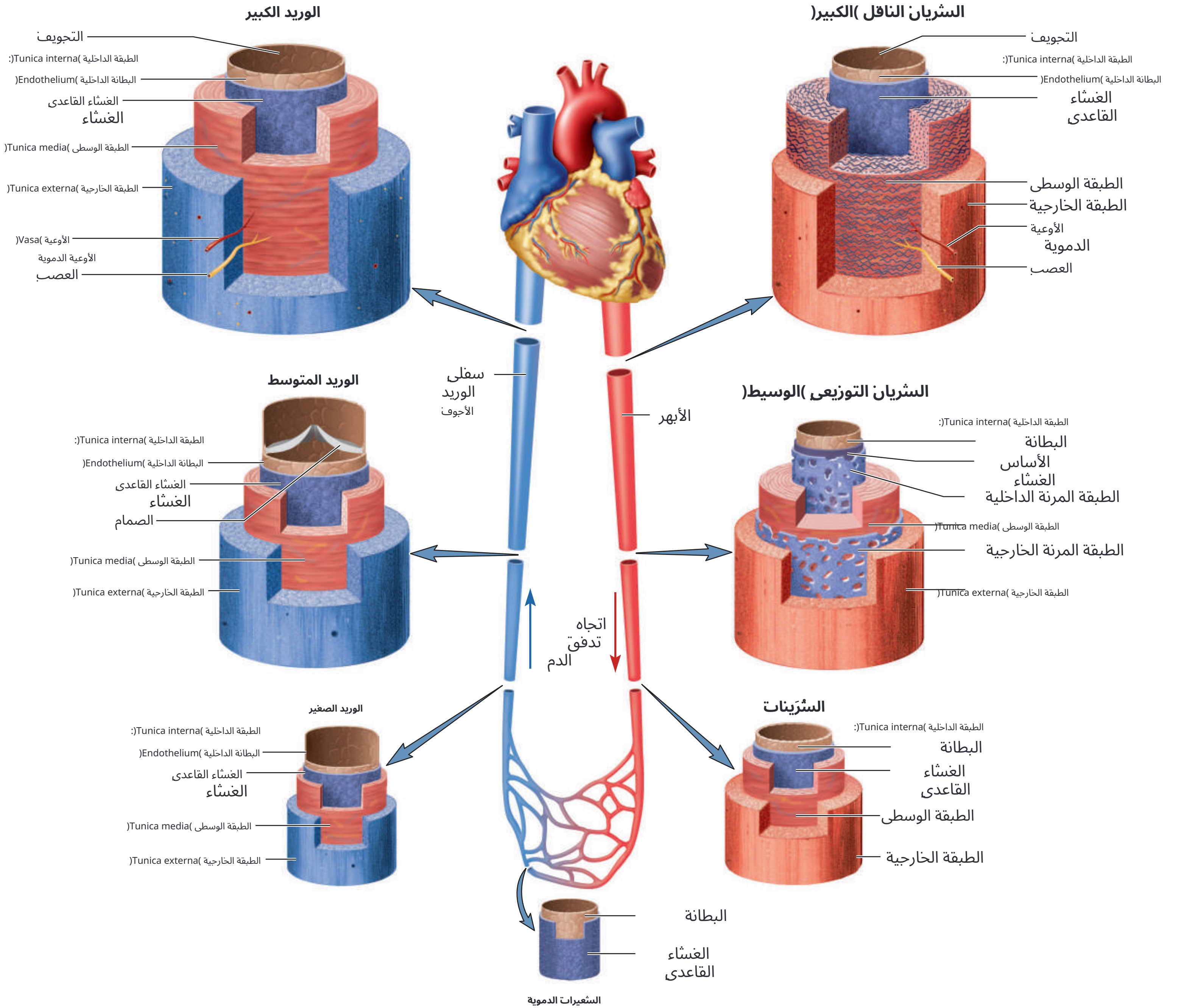
الشكل 20.1 صور مجهرية للأوعية الدموية. (أ) أوعية دموية صغيرة، أوعية لمفاوية، وأعصاب مرتبطة بعقدة لمفاوية (LM). (ب) قالب وعائى لأوعية الغدة الدرقية (SEM). كل كتلة دائرية من الشعيرات الدموية تتوافق مع واحدة من جريبات الغدة الدرقية كما هو موضح فى الشكل 17.9. هذه الأوعية تجمع هرمون الغدة الدرقية لتوزيعه فى جميع أنحاء الجسم.

أ: خوسيه كالفو/صورة من الامى ستوك فوتو؛ ب: سوسومو نيشناغا/ساينس سورس

2. الطبقة الوسطى (tunica media)، الطبقة الوسطى، عادةً ما تكون الأسمك. تتكون من العضلات الملساء، والكولاجين، وفى بعض الحالات، النسيج المرن. تختلف النسب النسبية للعضلات الملساء والنسيج المرن بشكل كبير من وعاء إلى آخر، وتشكل أساسًا لتصنيف الأوعية كما هو موضح فى القسم التالى. تقوى الطبقة الوسطى الأوعية وتمنع ضغط الدم من تمزيقها، كما تنظم قطر الوعاء الدموى.

[1] advent = أضيف إلى

[2] vasa = الأوعية الدموية؛ vasorum = للأوعية الدموية



الشكل 20.2 علم الأنسجة للأوعية الدموية.

لماذا تحتوى الشرايين على نسيج مرن أكثر بكثير من الأوردة؟

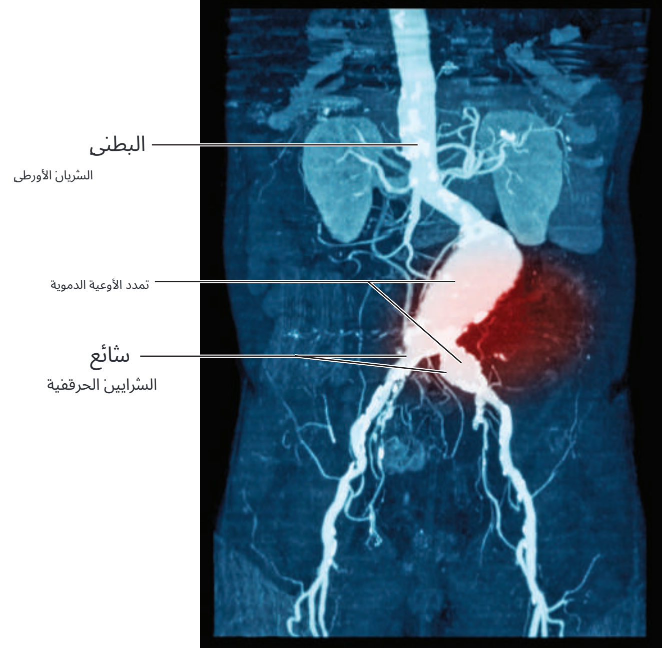
2. الشرايين التوزيعية)العضلية أو المتوسطة(هى فروع أصغر توزع الدم إلى أعضاء محددة. يمكن مقارنة الشريان الناقل بطرق سريع بين الولايات، والشرايين التوزيعية بمخارج الطرق السريعة والطرق المحلية التى تخدم المدن الفردية. معظم الشرايين التى تحمل أسماء تشريحية محددة تقع ضمن هاتين الفئتين الأوليين من الحجم. بعض أمثلة الشرايين التوزيعية هى الشريان العضدى، والفخذى،

الشرايين. تتوسع الشرايين الناقلة عندما تستقبل الدم أثناء الانقباض البطينى، ثم تنكمش أثناء الانبساط. هذا يخفف الضغط الضار على الشرايين الأصغر فى الأسفل. مع تصلب الشرايين مع التقدم فى العمر)*تصلب الشرايين*(، يتناقص هذا التأثير الوقائى، وتتعرض الأوعية الدموية فى الأسفل لإجهاد أكبر، وتزداد مخاطر تمدد الأوعية الدموية والنزيف)انظر التعمق 20.1).



نظرة أعمق 20.1

التطبيق السريرى



تمدد الأوعية الدموية)أنيوريسم(

تمدد الأوعية الدموية[3] هو نقطة ضعف فى شريان أو جدار القلب. يتشكل ككيس منتفخ ذو جدار رقيق ينبض مع كل نبضة من القلب وقد يتمزق فى النهاية. فى حا لة تمدد الأوعية الدموية المُفصِّل، يتجمع الدم بين طبقات الشريان ويفصلها، عادة بسبب تدهور الطبقة الوسطى)tunica media(. أكثر المواقع شيوعًا لتمدد الأوع ية الدموية هى الشريان الأورطى البطنى)الشكل 20.3(، شرايين الكلى، والدائرة ال شريانية فى قاعدة الدماغ. حتى بدون حدوث نزيف، يمكن لتمدد الأوعية الدموية أ ن يسبب ألمًا أو وفاة عن طريق الضغط على نسيج الدماغ، الأعصاب، الأوردة المج اورة، ممرات الهواء الرئوية، أو المرىء. تشمل العواقب الأخرى اضطرابات عصبية، صعوبة فى التنفس أو البلع، سعال مزمن، واحتقان الأنسجة بالدم. أحيانًا ينتج تم دد الأوعية الدموية عن ضعف خلقى فى الأوعية الدموية وأحيانًا عن إصابات أو ال تهابات بكتيرية مثل الزهرى. ومع ذلك، فإن السبب الأكثر شيوعًا هو مزيج من ت صلب الشرايين وارتفاع ضغط الدم.

الشكل 20.3 تمدد الأوعية الدموية. تصوير الأوعية بالرنين المغناطيسى)M RA(لمنطقة البطن والحوض لمريض يعانى من ارتفاع ضغط الد م، يُظهر انتفاخات بارزة)تمددات(فى الشريان الأورطى السفلى والشريان الحرق فى الأيسر المشترك.

سوتا بوراونك / شترستوك

تنقل هذه المستقبلات المعلومات إلى جذع الدماغ الذى يعمل على تنظيم ضربات القلب وأقطار الأوعية الدموية والتنفس.
هم من ثلاثة أنواع:

1. جُيوب الشريان السباتى. هذه هى مستقبلات الضغط—حسا سات تراقب ضغط الدم. يصعد على كل جانب من الرقبة الشر يان السباتى المشترك، الذى يتفرع بالقرب من زاوية الفك الس فلى، مكونًا الشريان السباتى الداخلى إلى الدماغ والشريان الس باتى الخارجى إلى الوجه. تقع جيوب الشريان السباتى فى جدار الشريان السباتى الداخلى فوق نقطة التفرع مباشرة. تح توى جيوب الشريان السباتى على وفرة من ألياف العصب ا لبلعومى اللسانى فى الغلاف الخارجى. دور مستقبلات الضغط فى تعديل ضغط الدم، والذى يُسمى الانعكاس الضغطى، مو صوف لاحقًا فى هذا الفصل.

2. أجسام الشريان السباتى. تقع أيضًا بالقرب من تفرع الشرايين السباتية المشتركة، وهى مستقبلات بيضاوية بحجم حو 3 × 5 مم، وتُعصب أيضًا بواسطة الأعصاب البلعومية اللسانية. هى مستقبلات كيميائية—حساسات تراقب التغيرات فى كيمياء الدم. تنقل بشكل رئيسى الإشارات إلى مراكز التنفس فى جذع الدماغ، التى تعدل التنفس لاستقرار درجة حموضة الدم ومستويات ثانى اكسيد الكربون CO2 والاكسجين O2

3. أجسام الشريان الأورطى. هى مستقبلات كيميائية واحدة إلى ثلاث تقع فى قوس الشريان الأورطى. هى مشابهة هيكليًا لأجسام ال شريان السباتى ولها نفس الوظيفة، لكنها تنقل إشاراتها إلى جذع الد ماغ عبر الأعصاب اللعابية)العصب المبهم(.

الشرايين الكلوية والطحالية. عادةً ما تحتوى الشرايين التوزيع ية على ما يصل إلى 40 طبقة من العضلات الملساء التى ت شكل حوالى ثلاثة أرباع سمك الجدار. فى المقاطع النسيجية، ت كون هذه العضلات أكثر وضوحًا من النسيج المرن. ومع ذلك، فإ ن كلًا من الغشاء المرن الداخلى والخارجى يكونان سميكين وغا لبًا ما يكونان واضحين.

3. الشرايين المقاومة)الصغيرة(متغيرة جدًا فى العدد والموقع بحي ث لا تحمل العديد منها أسماء فردية. تحتوى على ما يصل إلى 25 طبقة من العضلات الملساء وقليل من النسيج المرن نسبيًا . مقارنةً بالشرايين الكبيرة، يكون لديها طبقة وسطى)tunica me dia(أكثر سمكًا نسبةً إلى التجويف. أصغرها، ال تى يصل قطرها إلى 200 ميكرومتر وتحتوى على طبقة إلى ثلاث طبقات فقط من العضلات الملساء، تسمى السُّرَيينات . السُّرَيينا ت هى نقطة التحكم الرئيسية فى كمية الدم التى يتلقاها عضو أو نسيج، كما سنرى لاحقًا.

فى بعض الأماكن، مثل المساريق، توجد أوعية قصيرة تسمى السُّرَ يينات المتوسطة[4])قنوات المرور(تربط السُّرَيينات مباشرةً بالأوردة ال صغيرة وتوفر طرقًا مختصرة يمكن للدم من خلالها تجاوز الشعيرات الدم وية. يتم مناقشتها بشكل أوسع مع أحواض الشعيرات الدموية.

أعضاء الإحساس الشريانية

بعض الشرايين الرئيسية فوق القلب تحتوى على هياكل حسية فى ج درانها تراقب ضغط الدم وتركيبته)الشكل 20.4(.

[3] *تمدد الأوعية الدموية* = توسع

[4] *ميتا* = ما بعد، التالى فى سلسلة

بقطر صغير، يجب أن تتمدد إلى أشكال ممدودة لتتمكن من المرور عبر أصغر الشعيرات الدموية.

تقريبًا كل خلية فى الجسم تقع ضمن 60 إلى 80 ميكرومتر)حوالى أربعة إلى ستة أضعاف عرض الخلية(من أقرب شعيرة دموية. هناك بعض الاستثناءات: الشعيرات الدموية نادرة فى الأوتار والأربطة وغائبة عن الطبقات الطلائية والغضاريف وقرنية وعدسة العين.

أنواع الشعيرات الدموية

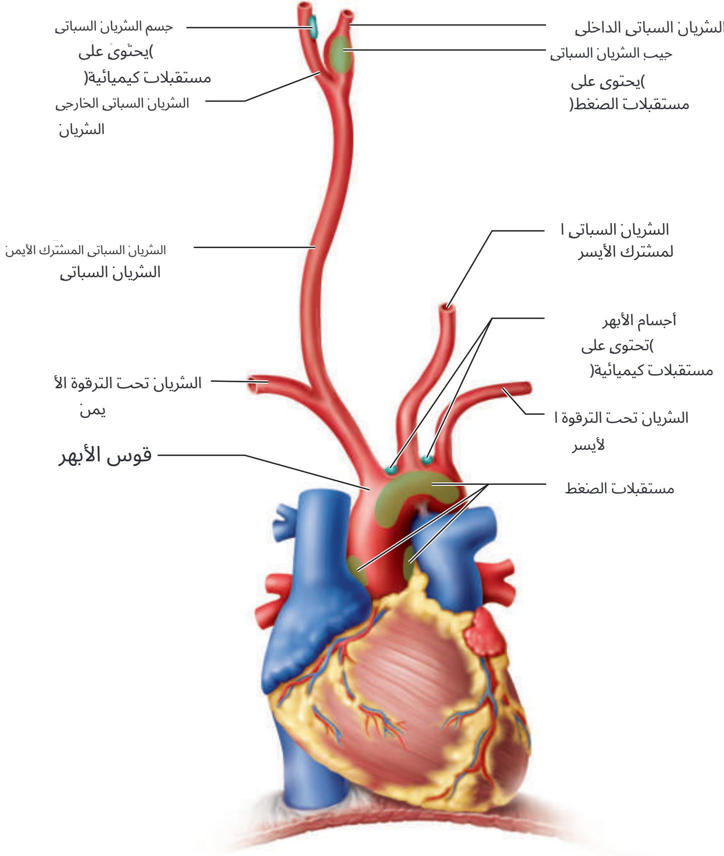
هناك ثلاثة أنواع من الشعيرات الدموية، تميز حسب مدى سهولة مرور المواد عبر جدرانها وباختلافات هيكلية تفسر نفاذيتها الأكثر أو الأقل.

1. الشعيرات الدموية المستمرة)الشكل f20.5(تحدث فى معظم الأنسجة والأعضاء مثل العضلات الهيكلية والرئتين والدماغ. تشكل خلايا البطانة لديهم التى ترتبط معًا بواسطة وصلات ضيقة، أنبوبًا مستمرًا. تحيط بطبقة رقيقة من البروتينات والكربوهيدرات تسمى الغشاء القاعدى بالبطانة وتفصلها عن الأنسجة الضامة المجاورة. تفصل خلايا البطانة بواسطة فجواتضيقة تسمى الشقوق بين الخلوية بعرض حوالى ٤ نانومتر. يمكن للذائبات الصغيرة مثل الجلوكوز المرور عبر هذه الشقوق، لكن معظم بروتينات البلازما والجزيئات الكبيرة الأخرى والصفائح الدموية وخلايا الدم تحجز. تفتقر معظم الشعيرات الدموية فى الدماغ إلى الشقوق بين الخلوية ولديها وصلاتضيقة أكثر اكتمالًا تشكل الحاجز الدموى الدماغى الذى نوقش فى الفصل ١٤.

بعض الشعيرات الدموية المستمرة تحتوى على خلايا تسمى الخلايا المحيطة)pericytes(خارج البطانة الداخلية. تمتلك الخلايا المحيطة زوائد طويلة تلف حول الشعيرة الدموية. تحتوى على نفس البروتينات القابلة للانقباض مثل العضلات، ويعتقد أنها تستطيع الانقباض وتنظيم تدفق الدم عبر الشعيرات الدموية. كما يمكنها التمايز إلى خلايا بطانية وخلايا عضلية ملساء، وبالتالى تساهم فى نمو الأوعية الدموية وإصلاحها.

2. Fenestrated capillarie)الشعيرات الدموية المثقبة s(تحتوى على خلايا بطانية بها بقع من المسام التـرشيحية)fenestrations³( )الشكل 20.5b، c(. يبلغ قطر هذه المسام حوالى 20 إلى 100 نانومتر، وغالبًا ما تغطيها غشاء جليكوبروتينى أرق بكثير من غشاء البلازما الخاص بالخلية. تسمح هذه المسام بمرور سريع للجزيئات الصغيرة، لكنها تحتفظ بمعظم البروتينات والجسيمات الأكبر فى مجرى الدم. الشعيرات الدموية المثقبة مهمة فى الأعضاء التى تشارك فى الامتصاص أو الترشيح السريع - مثل الكلى، الغدد الصماء، الأمعاء الدقيقة، والتلافيف المشيمية فى الدماغ.

3. الجيوب الدموية)Sinusoids(هى فراغات غير منتظمة مملوءة بالدم فى الكبد، ونخاع العظم، والطحال، وبعض الأعضاء الأخرى)الشكل 20.6(. هى ممرات ملتوية ومتعرجة، عادةً بعرض 30 إلى 40 ميكرومتر، تتوافق مع شكل الأنسجة المحيطة. تفصل بين الخلايا البطانية فجوات واسعة بدون غشاء قاعدى، وغالبًا ما تحتوى الخلايا أيضًا على



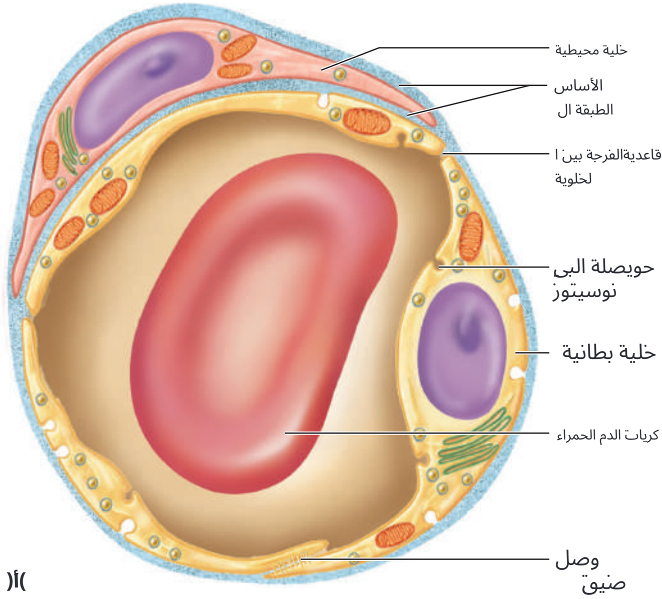
الشكل 20.4 مستقبلات الضغط ومستقبلات الكيمياء فى الشرايين فوق القلب. الهياكل الموضحة هنا فى الشرايين السباتية اليمنى مكررة فى الشرايين السباتية اليسرى. APR

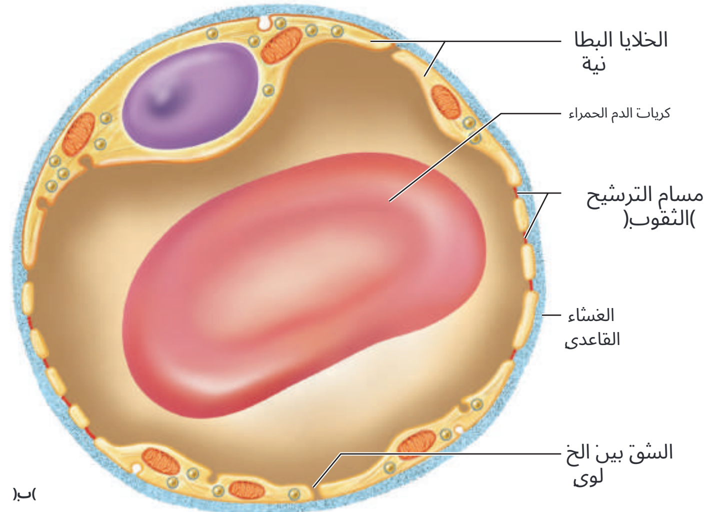
20.1c الشعيرات الدموية

لكى يخدم الدم أى غرض، يجب أن تمر المغذيات والنفايات والهرمونات والكريات البيضاء بين الدم وسائل الأنسجة، عبر جدران الأوعية. هناك ثلاثة أماكن فقط يحدث فيها ذلك - الشعيرات الدموية، وبعض الأوردة الصغيرة، والجيوب الدموية)sinusoids(التى سيتم وصفها قريبًا. يمكننا اعتبار هذه "نقطة العمل" فى الجهاز القلبى الوعائى، لأن بقية النظام موجود لخدمة عمليات التبادل التى تحدث هنا. وبما أن الشعيرات الدموية تفوق عدد الأوردة الصغيرة بكثير، فهى الأهم بين الاثنين. تُعتبر الشعيرات الدموية أوعية التبادل فى الجهاز القلبى الوعائى. كما تُسمى الشرايين الدقيقة، الشعيرات الدموية، والأوردة الصغيرة بالأوعية الدقيقة)الدورة الدقيقة(.

تتكون الشعيرات الدموية)انظر الأشكال 20.1، 20.2، والصورة الافتتاحية لهذا الفصل(فقط من بطانة داخلية)endothelium(وغشاء قاعدى)basal lamina(. جدرانها رقيقة جدًا تصل إلى 0.2 ميكرومتر. يبلغ قطرها حوالى 5 ميكرومتر فى الطرف القريب)حيث تستقبل الدم الشريانى(، وتتسع إلى حوالى 9 ميكرومتر فى الطرف البعيد)حيث تفرغ فى وريد صغير(، وغالبًا ما تتفرع على طول الطريق. وبما أن كريات الدم الحمراء يبلغ قطرها حوالى 7.5 ميكرومتر

مسام نافذة

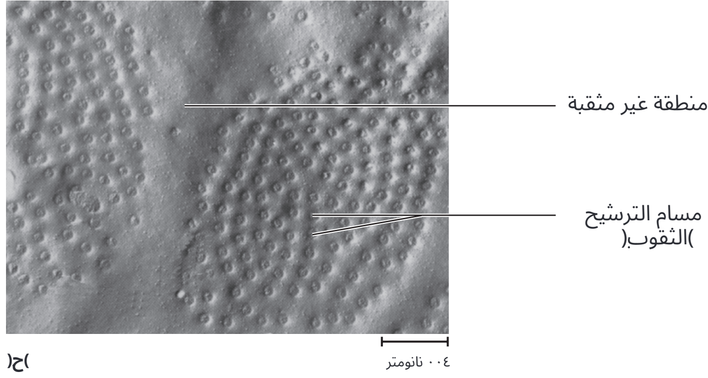


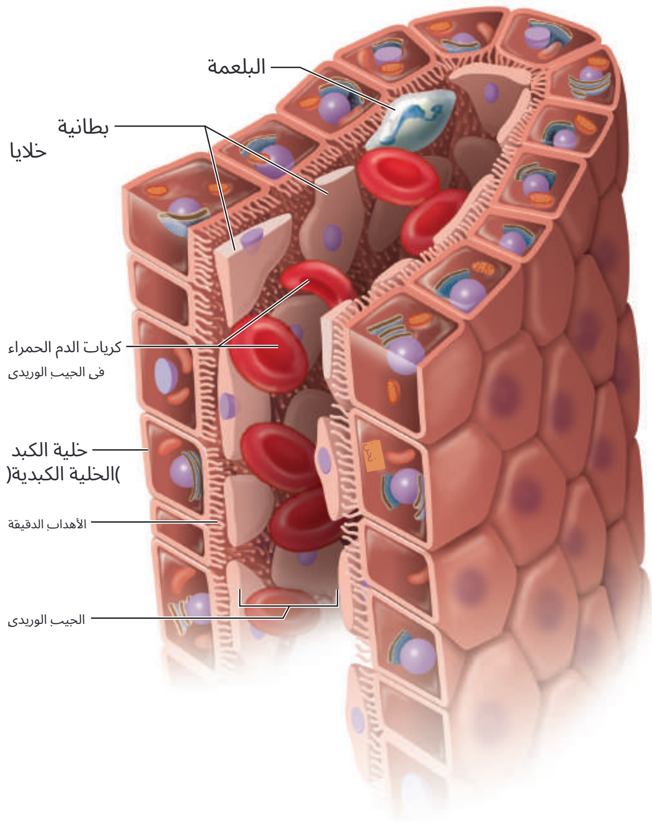


الشكل 20.5 أنواع الشعيرات الدموية.)أ(شعيرة دموية مستمرة، موق
طع عرضى.)ب(شعيرة دموية نافذة، مقطع عرضى.
)ح(سطح خلية بطانية نافذة يظهر بقعًا من مسام الترشيح)النوافذ(مف
صولة بمناطق غير نافذة)المجهر الإلكترونى الماسح(.

حدد بعض الأعضاء التى تحتوى على شعيرات دموية نافذة بدلاً من الش
عيرات الدموية المستمرة.

ح: س. ماكنوت





الشكل 20.6 جيب كبدى. الفجوات الكبيرة بين الخلايا البطانية تسمح لبلازما الدم بالاتصال المباشر بخلايا الكبد مع احتجاز خلايا الدم داخل تجويف ال
جيب.

ثقوب كبيرة بشكل خاص تمر من خلالها. حتى البروتينات وخلايا الدم يمكنها المرور عبر هذه المسام؛ هذه هى الطريقة التى يدخل بها الألبومين وعوامل التخثر وبروتينات أخرى تُصنع فى الكبد إلى الدم، وكيف تدخل خلايا الدم الجديدة الدورة الدموية من نخاع العظم والأعضاء اللمفاوية. تحتوى بعض الجيوب الدموية على البلعميات أو خلايا متخصصة أخرى.

أحواض الشعيرات الدموية

تنظم الشعيرات الدموية فى شبكات تُسمى أحواض الشعيرات الدموية— عادةً ما تتكون من 10 إلى 100 شعيرة دموية تغذيها شريان صغير واحد أو شريان صغير متوسط)الشكل 20.7؛ انظر أيضًا صورة افتتاح هذا الفصل(. فى نهايتها البعيدة، تتحول الشعيرات الدموية إلى أوردة صغيرة، مع إضافة تدريجية لطبقة متوسطة رقيقة. قد تصب أيضًا فى نهاية بعيدة لشريان صغير متوسط، والذى يؤدى بعد ذلك إلى وريد صغير.

فى أى وقت معين، يتم إغلاق حوالى ثلاثة أرباع الشعيرات الدموية فى الجسم لأنه لا يوجد دم كافٍ لتغذية جميعها فى نفس الوقت. فى العضلات الهيكلية، على سبيل المثال، حوالى

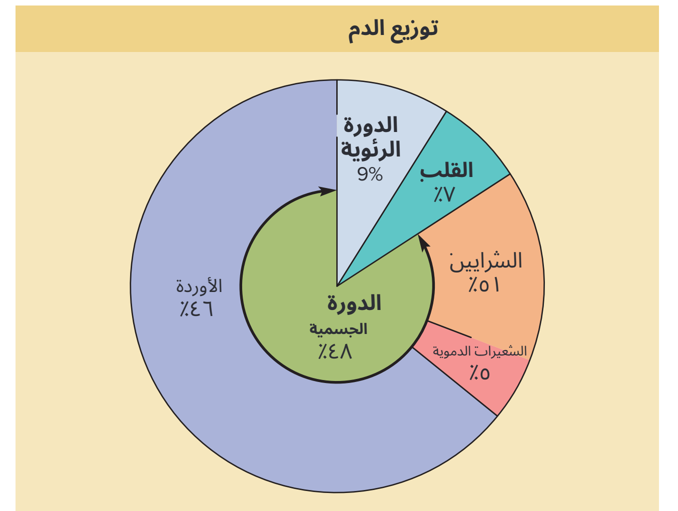
من أسرّة الشعيرات الدموية. فى أسرّة الشعيرات الدموية التى تزودها الشرايين الصغيرة)الميتارتيولات(، غالبًا ما يكون هناك خلية عضلية م لساء واحدة تلتف مثل الكم حول فتحة كل شعيرة دموية؛ تعمل كـ مصرة قبل الشعيرية تنظم تدفق الدم. إذا كانت المصرات مسترخية، فإن الشعيرات الدموية تكون مشبعة جيدًا بالدم)الشكل 20.7أ(. إذا ا نقبضت العديد من المصرات، يتجاوز الدم الشعيرات الدموية، مما يج علها أقل تشبعًا أو حتى خالية من الدم، ويأخذ الدم مسارًا مختصرًا ع بر الميتارتيول مباشرة إلى الوريد الصغير القريب)الشكل 20.7ب(.

20.1د الأوردة

تُعتبر الأوردة أوعية السعة فى الجهاز القلبى الوعائى لأنها ذات جدران رقيقة ومرنة نسبيًا، وتتوسع بسهولة لاستيعاب حجم متزايد من الدم؛ أى أن لديها سعة أكبر لاحتواء الدم مقارنةً بالشرايين. فى حالة الراحة، يكون حوالى 64٪ من الدم فى الأوردة الجهازية مقارنةً بـ 15٪ فقط فى الشرايين الجهازية)الشكل 20.8(.

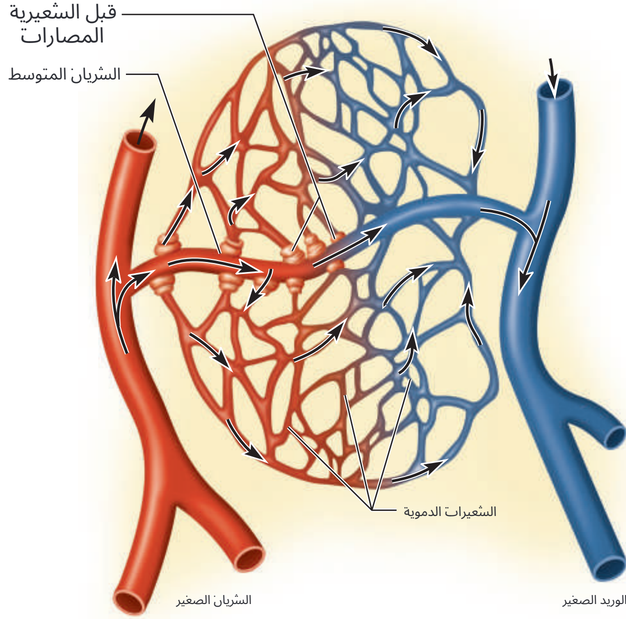
السبب فى أن جدران الأوردة رقيقة ومرنة هو أنها، لكونها بعيدة عن بطينات القلب، تتعرض لضغط دم منخفض نسبيًا. فى الشرايين الك بيرة، يبلغ متوسط ضغط الدم من 90 إلى 100 ملم زئبق ويصل إلى 1 20 ملم زئبق أثناء الانقباض، بينما فى الأوردة يبلغ المتوسط حوالى 1 0 ملم زئبق. علاوة على ذلك، يكون تدفق الدم فى الأوردة مستمرًا وثا بتًا، وليس نابضًا مع نبضات القلب كما هو الحال فى الشرايين. لذلك ، لا تحتاج الأوردة إلى جدران سميكة مقاومة للضغط. فهى تنهار عندم ا تكون فارغة، وبالتالى تأخذ أشكالًا مسطحة وغير منتظمة فى المقاط ع النسيجية)انظر الشكل 20.1أ(.

عند تتبع تدفق الدم فى الشرايين، نجد أنه يتفرع مرارًا وتكرارًا إلى فروع أصغر وأصغر من النظام الشريانى.
فى النظام الوريدى، على العكس من ذلك، نجد الأوردة الصغيرة تندمج لتشكل أوردة أكبر وأكبر كلما اقتربت من القلب. نشير إلى الأوردة ال صغيرة باسم الروافد، مثل الجداول التى تلتقى لتشكل أنهارًا. عند درا سة أنواع الأوردة، سنتبع هذا المنهج.

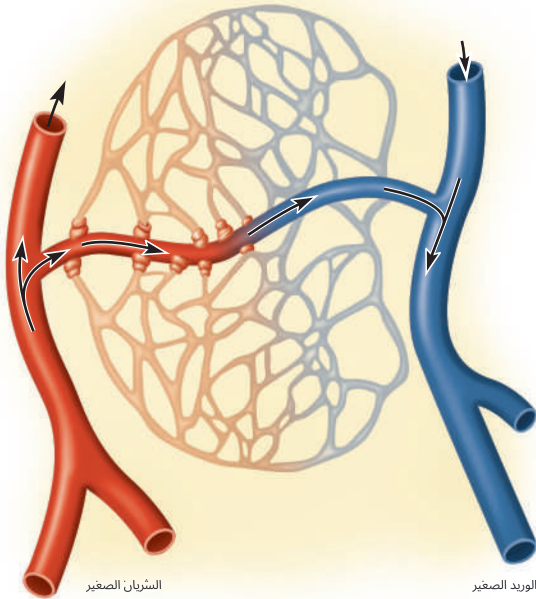


الشكل 20.8 التوزيع النموذجى للدم فى شخص بالغ فى حالة راحة.

ما الحقيقة التشريحية التى تسمح للأوردة باحتواء كمية دم أكبر بكثير مقارنة بالشرايين؟



)أ(المصاريع مفتوحة

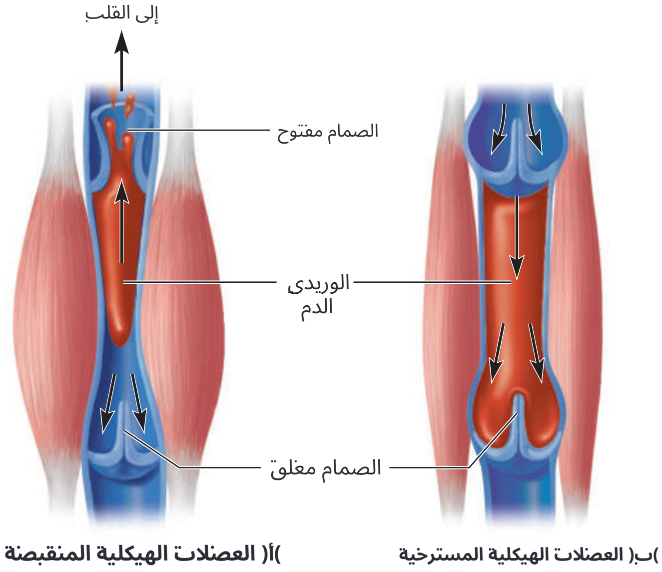


)ب(المصاريع مغلقة

الشكل 20.7 تروية سرير شعيرى.)أ(توسع المصاريع قبل الشعيرية وتر وية جيدة للشعيرات.)ب(إغلاق المصاريع قبل الشعيرية، مع تجاوز مع طم الدم للشعيرات.

٩٠٪ من الشعيرات الدموية يكون فيها تدفق دموى قليل أو معدوم خ لال فترات الراحة. أثناء التمرين، تستقبل تدفقًا وفيرًا بينما الشعيرات الدموية فى أماكن أخرى — مثل الجلد والأمعاء — تُغلق لتعويض ذل ك. عادةً ما يتم تنظيم تدفق الشعيرات الدموية)التروية(عن طريق تو سع أو تضيق الشرايين الصغيرة فى الأعلى

تظهر العديد من الأوردة المتوسطة، خاصة فى الأطراف،
طيّات فى الطبقة الداخلية (tunica interna) تلتقى فى منتصف
التجويف، مكونة صمامات وريدية موجهة نحو القلب
(الشكل 20.9). ضغط الدم فى الأوردة ليس مرتفعًا بما يكفى لـ



الشكل 20.9 مضخة العضلات الهيكلية. (أ) انقباض العضلات ى
ضغط على الأوردة العميقة ويدفع الدم عبر الصمام التالى فى اتجاه القلب. تم
نع الصمامات أسفل نقطة الضغط ارتجاع الدم. (ب) عندما تسترخى الع
ضلات، يتدفق الدم للأسفل تحت تأثير الجاذبية لكنه يمكن أن يتدفق فقط
حتى أقرب صمام.

اتجاه تدفق الدم، بدءًا من أصغر الأوعية إلى
الأوعية الأكبر (انظر الشكل 20.2).

1. الأوردة بعد الشعيرية هى أصغر الأوردة، تبدأ بأقطار تتراوح بين 10 إلى 20 ميكرومتر. تستقبل الدم من الشعيرات الدموية مبا شرة أو عبر الأطراف البعيدة لشرايين متوسطة الحجم (الميتارتيو لات). تحتوى على طبقة داخلية (tunica interna) بها عدد قليل فقط من الأرومات الليفية حولها ولا تحتوى على عضلات. مثل الشعيرات الدموية، غالبًا ما تحيط بها الخلايا المحيطة (pericytes). الأوردة بعد الشعيرية أكثر نفاذية من الشعير ات الدموية؛ لذلك، تتبادل الأوردة أيضًا السوائل مع الأنسجة المح يطة. معظم الكريات البيضاء تهاجر من مجرى الدم عبر جدران الأور دة بعد الشعيرية.

2. الأوردة العضلية تستقبل الدم من الأوردة بعد الشعيرية. يبلغ قطرها ح تى 1 مم. تحتوى على طبقة وسطى (tunica media) مكونة من ط بقة أو طبقتين من العضلات الملساء، وطبقة خارجية (tunica ex terna) رقيقة.

3. الأوردة المتوسطة يتراوح قطرها حتى 10 مم. معظم الأورد ة التى تحمل أسماء فردية تقع فى هذه الفئة، مثل الأوردة الكع برية والزندية فى الساعد والأوردة الصافنة الصغيرة والكبيرة فى الساق. تحتوى الأوردة المتوسطة على طبقة داخلية (tunica interna) بها بطانة داخلية، غشاء قاعدى، نسيج ضام رخو، وأحيانًا طبقة رقيقة من الغشاء المرن الداخلى. ا لطبقة الوسطى (tunica media) أرق بكثير مما هى عليه ف ى الشرايين المتوسطة؛ تحتوى على حزم من العضلات المل ساء، لكنها ليست طبقة عضلية مستمرة كما هو الحال فى ا لشرايين. العضلات متقطعة بمناطق من النسيج الكولاجين ى، الشبكى، والمرن. الطبقة الخارجية (tunica externa) سميكة نسبيًا.



نظرة أعمق 20.2

تطبيق سريرى

الأوردة الدوالى

فى الأشخاص الذين يقفون لفترات طويلة، مثل الحلاقين وأمناء الصناديق، يميل ا لدم إلى التجمع فى الأطراف السفلية وتمدد الأوردة. هذا صحيح خصوصًا للأوردة ا لسطحية، التى لا تحيط بها أنسجة داعمة. يؤدى التمدد إلى سحب شُرف صماما تها بعيدًا عن بعضها البعض حتى تصبح غير قادرة على إغلاق الوعاء ومنع ارتجاع ا لدم. مع ازدياد تمدد الأوردة، تضعف جدرانها وتتطور إلى أوردة دوالى ذات توسعا ت غير منتظمة ومسارات ملتوية (الشكل 20.10). كما أن السمنة والحمل يساه مان فى تطور الأوردة الدوالى من خلال الضغط على الأوردة الكبيرة فى منطقة الحو ض وعرقلة تصريف الدم من الأطراف السفلية. أحيانًا تتطور الأوردة الدوالى بسبب ضعف وراثى فى الصمامات. مع قلة تصريف الدم، قد تصبح أنسجة الساق والقد م متورمة ومؤلمة. البواسير هى أوردة دوالى فى قناة الشرج.



الشكل 20.10 الأوردة الدوالى.

Sainan 2522/Shutterstock

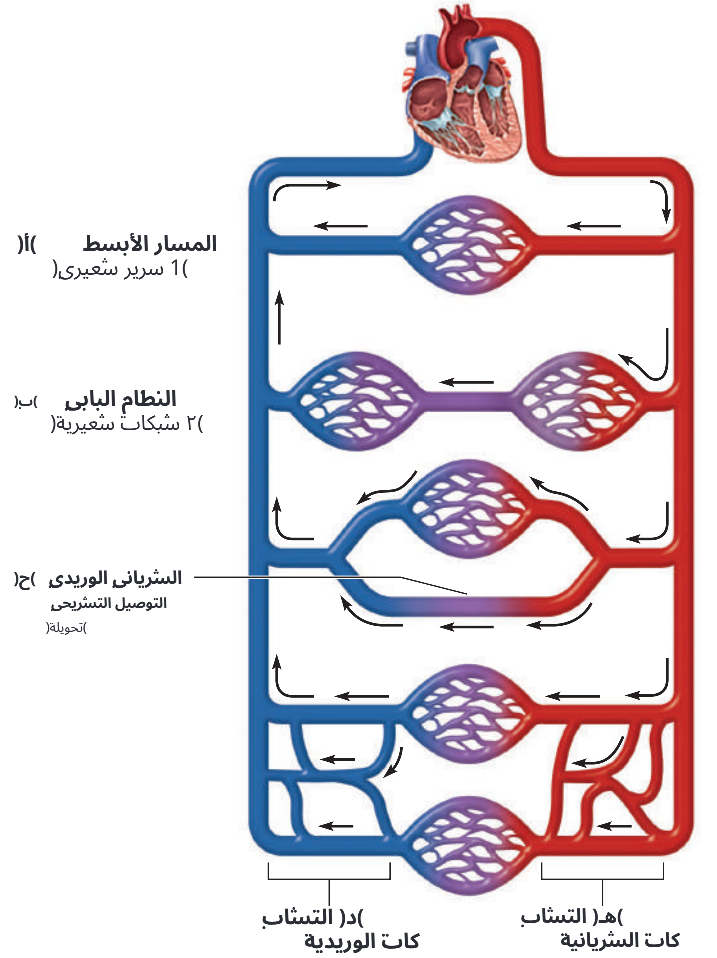
دفع كل الدم إلى الأعلى ضد قوة الجاذبية فى الشخص القائم أ و الجالس. يعتمد تدفق الدم الصاعد فى هذه الأوعية جزئيًا ع لى تأثير التدليك لعضلات الهيكل العظمى وقدرة هذه الصم امات على منع الدم من النزول مرة أخرى عند استرخاء العضلا ت.

عندما تنقبض العضلات المحيطة بالوريد، فإنها تضغط الدم ع بر هذه الصمامات. دفع الدم الوريدى بواسطة التدليك العضلى، بمساعدة صمامات الأوردة، هو آلية لتدفق الدم تُسمى *م ضخة عضلات الهيكل العظمى*.

تنتج الدوالى جزئيًا عن فشل الصمامات)انظر التعمق 20.2(.

4. الأوردة الكبيرة لها أقطار تزيد عن 10 مم. تحتوى على بعض الع ضلات الملساء فى جميع الطبقات الثلاث. لها طبقة وسطى ر قيقة نسبيًا تحتوى على كمية معتدلة فقط من العضلات الم لساء؛ أما الطبقة الخارجية فهى الأسمك وتحتوى على حزم طو لية من العضلات الملساء. تشمل الأوردة الكبيرة الوريدين الأجو فين، الأوردة الرئوية، الأوردة الوداجية الداخلية، والأوردة الكلوى ة.

فى بعض الأماكن، يتدفق الدم عبر الجيوب الوريدية — وهى أوردة م عدلة ذات جدران رقيقة جدًا، وأقطار كبيرة، ولا تحتوى على عضلات م لساء. من الأمثلة على ذلك الجيب التاجى للقلب والجيوب الجافية ف ى الدماغ. على عكس الأوردة الأخرى، فهى غير قادرة على التضيق الو عائى.



الشكل 20.11 تغيرات فى مسارات الدورة الدموية.)أ(أبسط وأشهر م سار، مع شبكة شعيرات دموية واحدة.)ب(أنظمة البوابة، مع شبكتين م ن الشعيرات الدموية على التوالى.)ح(التشابكات الشريانية الوريدية، متجاو زة الشعيرات الدموية.)د(التشابكات الوريدية، حيث تغذى وريد واحد وريدًا آ خر.)هـ(التشابكات الشريانية، حيث تغذى شريان واحد شريانًا آخر.

بعد دراسة الأوعية الدموية فى القسمين 20.7 و 20.8، حدد المواقع المحددة فى الجسم حيث يمكن العثور على التشابكات الشريانية، ال تشابكات الوريدية، وأنظمة البوابة.

20.1e مسارات الدورة الدموية

الشعيرات ا→ الشرايين →أبسط وأشهر مسار لتدفق الدم هو القلب القلب. عادةً ما يمر الدم عبر شبكة واحدة فقط م→ الأوردة →لدموية ن الشعيرات الدموية من وقت خروجه من القلب حتى عودته)الشك ل 20.11أ(، لكن هناك استثناءات، لا سيما الأنظمة البابية والتشابكا ت.

فى النظام البابى)الشكل 20.11ب(، يتدفق الدم عبر شبكتين م تتاليتين من الشعيرات الدموية قبل العودة إلى القلب. تحدث الأنظم ة البابية فى الكليتين، وتربط تحت المهاد بالغدة النخامية الأمامية، و تربط الأمعاء بالكبد)انظر القسم 20.7ح(.

التشابك هو نقطة التقاء بين وعائين دمويين غير الشعيرات الدم وية. فى التشابك الشريانى الوريدى)التحويلة(، يتدفق الدم من الشر يان مباشرة إلى الوريد متجاوزًا الشعيرات الدموية)الشكل 20.11ح(. تحدث التحويلات فى الأصابع، والراحة، وأصابع القدم، والأذنين، حيث تقلل من فقدان الحرارة فى الطقس البارد من خلال السماح للدم الدا فئ بتجاوز هذه الأسطح المكشوفة. للأسف، يجعل هذا المناطق ذات التروية الضعيفة أكثر عرضة لقضمة الصقيع. أكثر التشابكات شيوعًا ه ى التشابكات الوريدية، حيث يفرغ وريد واحد مباشرة فى آخر)الش كل 20.11د(.

توفر هذه عدة مسارات بديلة لتصريف الدم من عضو ما، لذلك فإن ان سداد الوريد نادراً ما يكون مهدداً للحياة مثل انسداد الشريان. التشا بكات الشريانية، حيث تندمج شريانان)الشكل 20.11e(، توفر *مسارا ت جانبية*)بديلة(لتوريد الدم إلى نسيج ما. وقد تم وصف تلك الخا صة بالدورة التاجية فى الفصل 19. كما أنها شائعة حول المفاصل حي ث قد يؤدى تحريك الأطراف إلى ضغط مؤقت على شريان ما وعرقلة أحد المسارات. سيتم وصف عدة تشابكات شريانية ووريدية لاحقاً فى هذا الفصل.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

1. سمِّ الطبقات الثلاث لجدار الوعاء الدموى النموذجي وشرح كيف تخ تلف عن بعضها البعض.
2. قارن بين الطبقة الوسطى)tunica media(للشريان الناقل، والسُرَ يناتٍ)arterioles(، والأوردة الصغيرة)venules(وشرح كيف ترتبط الاختلافات النسيجية بالاختلافات الوظيفية بين هذه الأوعية.
3. وصف الفروقات بين الشعيرات الدموية المستمرة، والشعيرات ذات النوافذ)fenestrated capillary(، والشعيرات الجيبية)sinusoid(.

يتناقص تدفق الدم إلى الأمعاء ويُعطى أولوية أعلى للكلى وأعضاء أخرى. يمكن أن تحدث تغييرات كبيرة في التدفق الإقليمي مع تغير طفيف أو بدون تغير في التدفق الكلي.
ديناميكا الدم، المبادئ الفيزيائية لتدفق الدم، تعتمد بشكل رئيسي على الضغط والمقاومة. يمكن تلخيص هذه العلاقات بإيجاز من خلال الصيغة

$$F \propto \Delta P/R.$$

بعبارة أخرى، كلما زاد فرق الضغط (ΔP) بين نقطتين، زاد التدفق (F)؛ وكلما زادت المقاومة (R)، قل التدفق. لذلك، لفهم تدفق الدم، يجب أن نأخذ في الاعتبار العوامل التي تؤثر على الضغط والمقاومة.

20.2أ ضغط الدم

ضغط الدم (BP) هو القوة التي يمارسها الدم على جدار الوعاء الدموي. انقباض القلب يبدأ موجة ضغط تنخفض بسرعة كلما تدفق الدم بعيداً أكثر فأكثر. قياس ضغط الدم هو جزء مألوف من الفحص البدني الروتيني. عادةً ما يُقاس عند *الشريان العضدي* في الذراع باستخدام جهاز قياس ضغط الدم (sphygmomanometer) (SFIG-mo-meh-NOM-eh-tur) (الشكل 20.12).
يتكون هذا الجهاز من رباط قابل للنفخ متصل بمضخة مطاطية لضخ الهواء فيه، ومقياس أنيرويد عقربي، أو حساس رقمي، أو عمود زئبقي معاير لقياس ضغط الهواء في الرباط. أجهزة قياس ضغط الدم الزئبقية هي "المعيار الذهبي" للدقة، لكن الأجهزة الأخرى لها مزايا من حيث الراحة والاستخدام المنزلي.

لقياس ضغط دم المريض باستخدام جهاز قياس ضغط الدم الزئبقي، يلف الفاحص الرباط بإحكام حول ذراع المريض وينفخه بالمضخة حتى يتجاوز ضغط الدم الانقباضي. عن طريق ضغط عضلات الذراع، ينهار الشريان العضدي عميقًا. حتى أثناء الانقباض، لا يستطيع القلب دفع الدم عبر الشريان، ولا يوجد تدفق دموي بعد تلك النقطة. يستمع الفاحص الآن باستخدام سماعة طبية عند ثنية المرفق (حفرة الكوع) أثناء تحرير الهواء ببطء من الرباط.



الشكل 20.12 قياس ضغط الدم باستخدام جهاز قياس ضغط الدم الزئبقي.
بلو تايتان / شترستوك

4. وصف مسارين يمكن من خلالهما للمواد أن تخرج من الدورة الدموية وتعبر جدار الشعيرات الدموية إلى سائل النسيج.
5. وصف الفروقات بين الوريد المتوسط و الشريان المتوسط (العضلي). وذكر الأسباب الوظيفية لهذه الفروقات.
6. مقارنة بين التشابك الوعائي (التوصيل) ونظام البوابة مع المسار الأكثر نمطية لتدفق الدم.

20.2 ضغط الدم، المقاومة، وتدفق الدم

النتائج التعليمية المتوقعة

عندما تكمل هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. شرح العلاقة بين ضغط الدم، المقاومة، والتدفق؛
ب. وصف كيفية قياس ضغط الدم و التعبير عنه؛
ج. عرض كيفية حساب ضغط النبض ومتوسط ضغط الشريان؛
د. وصف ثلاثة عوامل تحدد المقاومة لتدفق الدم؛
هـ. اشرح كيف يؤثر قطر الأوعية الدموية على ضغط الدم وتدفقه؛ و
و. وصف بعض التأثيرات المحلية والعصبية والهرمونية على تدفق الدم.

للحفاظ على الحياة، يجب على الجهاز الدوري أن يمد الأنسجة بالأكسجين والمواد المغذية، ويزيل نفاياتها، بمعدل يتناسب مع معدل الأيض الخاص بها. يمكن أن يؤدي عدم كفاية خدمات الدورة الدموية إلى نخر الدماغ أو القلب خلال دقائق، وربما إلى الوفاة المفاجئة. لذلك، من الضروري أن يستجيب الجهاز القلبي الوعائي بسرعة للاحتياجات المحلية ويضمن أن الأنسجة تحصل على إمداد دموي كافٍ في جميع الأوقات. تستعرض هذه الفقرة من الفصل الآليات لتحقيق ذلك.

يُعبّر عن إمداد الدم إلى النسيج بمصطلحي التدفق والتروية. التدفق هو كمية الدم التي تمر عبر عضو أو نسيج أو وعاء دموي خلال فترة زمنية معينة (مثل ملليلتر/دقيقة). التروية هي التدفق لكل حجم أو كتلة معينة من النسيج، وعادةً ما يُعبّر عنها بمليلترات الدم لكل 100 جرام من النسيج في الدقيقة. لذلك، قد يكون لدى عضو كبير مثل عظم الفخذ تدفق أكبر ولكن تروية أقل مقارنةً بعضو صغير مثل المبيض، لأن المبيض يستقبل كمية دم أكبر بكثير لكل جرام من النسيج.

في الشخص المستريح، يكون التدفق الكلي ثابتًا إلى حد كبير ويساوي النتاج القلبي (عادةً 5.25 لتر/دقيقة). ومع ذلك، يختلف التدفق عبر الأعضاء الفردية من دقيقة إلى أخرى حيث يتم إعادة توجيه الدم من عضو إلى آخر. على سبيل المثال، تتطلب عملية الهضم تدفقًا وفيرًا إلى الأمعاء، ويجعل الجهاز القلبي الوعائي هذا ممكنًا عن طريق تقليل التدفق عبر أعضاء أخرى مثل الكليتين. عندما تنتهي عملية الهضم وامتصاص المغذيات،

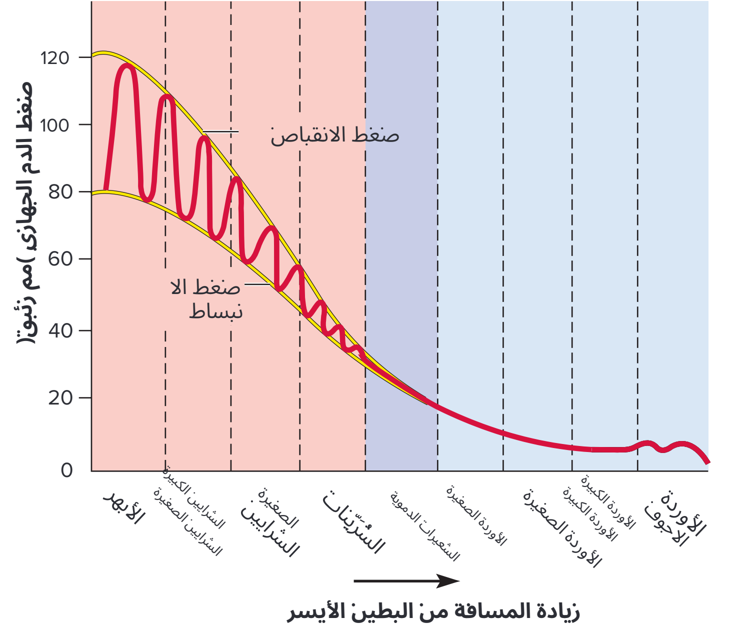
الشرايين بذلك تُخفف من تقلبات الضغط وتقلل من الإجهاد على الشرايين الصغيرة.

▶▶▶ طبق ما تعرفه

اشرح كيف يرتبط التركيب النسيجى للشرايين الكبيرة بقدرتها على التمدد أثناء الانقباض القلبى والارتداد أثناء الانبساط القلبى.

مع ذلك، يكون تدفق الدم فى الشرايين *نابضًا*. فى الأبهر، يندفع ا لدم بسرعة 120 سم/ثانية أثناء الانقباض وله سرعة متوسطة تبلغ 40 سم/ثانية خلال دورة القلب. عند القياس بعيدًا عن القلب، تكون ضغو ط الانقباض والانبساط أقل ويكون الفرق بينهما أقل)الشكل 20.13(. فى الشعيرات الدموية والأوردة، يتدفق الدم بسرعة ثابتة مع قليل أو بدون نبضات لأن موجات الضغط قد تم تخفيفها بسبب المسافة الم قطوعة ومرونة الشرايين. لهذا السبب، تطهر الوريد المصاب نزيفًا بط يئًا وثابتًا نسبيًا، بينما يندفع الدم بشكل متقطع من الشريان المقطوع. فى الوريد الأجوف السفلى بالقرب من القلب، مع ذلك، يتقلب تدفق الدم الوريدى بشكل طفيف مع دورة التنفس للأسباب التى ستُشرح لاحقًا، وهناك تقلب طفيف فى أوردة الرقبة الوداجية.

مع تقدمنا فى العمر، تصبح شراييننا أقل قابلية للتمدد وتمتص قوة الانقباض القلبى أقل. تسمى هذه الصلابة المتزايدة للشرايين تصلب الشرايين[6])"تصلب الشرايين"(.



الشكل 20.13 تغيرات ضغط الدم بالنسبة للمسافة من القلب. بسبب مرونة الشرايين وتأثير الاحتكاك بجدار الوعاء الدموى، تنخفض جميع قياسات ضغط الدم مع زيادة المسافة—ضغط الانقباض، ضغط الانبساط، ضغ ط النبض، ومتوسط ضغط الشريان. لا يوجد ضغط نبضى بعد الشرايين ال صغيرة، لكن هناك تذبذبات ضغط طفيفة فى الأوردة الأجوفة ناتجة عن م ضخة التنفس التى وُصفت لاحقًا فى هذا الفصل.

فى البداية لا يوجد صوت، ولكن بمجرد أن يتجاوز ضغط الدم الان قباضى ضغط الرباط قليلاً، يدفع كل نبضة قلب الشريان العضدى لل نفتاح ويسمح بمرور دفقة دم قصيرة.
ينهار الوعاء مرة أخرى أثناء الانبساط. هذه الدفقة من الدم والاندفاع ال لاحق للدم ضد الشريان المنهار تسبب اضطرابًا يسمعه الفاحص كصو ت "نقرة" خافتة. يُسجل ضغط الرباط عند لحظة أول نقرة كضغط الدم الانقباضى.
مع استمرار انخفاض ضغط الكفة، يمكن سماع طقة فى كل مرة ينهار فيها الشريان—أى مرة واحدة فى كل نبضة قلب.
لكن سرعان ما ينخفض ضغط الكفة إلى نقطة تبقى فيها الشريان الع ضدى مفتوحًا حتى أثناء الانبساط، ولا تحدث أصوات أخرى.
النقطة التى يُكتشف عندها الصوت الأخير تُسجل كضغط الدم الانبسا طى. تعتمد الأجهزة الرقمية على اكتشاف النبضات فى الشريان بدلاً م ن اكتشاف الأصوات الصادرة منه.
يُعبّر عن ضغط الدم الشريانى كنسبة بين الضغط الانقباضى، وهو الضغط الأقصى الناتج عن انقباض)الانقباض(للبطين الأيسر، إلى ال ضغط الانبساطى، وهو الحد الأدنى الذى ينخفض إليه ضغط الدم عند ما يكون البطين فى حالة انبساط. يُعبّر عن كلاهما بوحدة مليمتر زئبق)مم زئبق(. ضغط الدم النموذجى للبالغ السليم هو 120/75 مم زئبق) 120 مم زئبق انقباضى، 75 مم زئبق انبساطى(.
الفرق بين الضغط الانقباضى والانبساطى يُسمى ضغط النبض) لا يُخلط مع معدل النبض(. بالنسبة لضغط دم 120/75، يكون ضغط ا لنبض)PP(هو

$$120 - 75 = 45 \text{ mm Hg}.$$

هذا مقياس مهم للقوة التى تدفع دوران الدم والضغط الأقصى الذى يُمارس على الشرايين الصغيرة بفعل الارتفاعات المفاجئة فى الضغط الناتجة عن القلب.
مقياس آخر للضغط على الأوعية الدموية هو متوسط الضغط ال شريانى)MAP(— وهو متوسط الضغط الذى تحصل عليه إذا قمت بقياسه على فترات متعددة)مثلاً كل 0.1 ثانية(خلال دورة القلب. مع ذلك، فإن MAP ليس مجرد متوسط حسابى للضغط الانقباضى والانبساطى، لأن فترة الانبساط ذات الضغط المنخفض تدوم أطول من فترة الانقباض ذات الضغط العالى.
تُحصل تقدير قريب لـ MAP بإضافة الضغط الانبساطى إلى ثلث ضغ ط النبض. بالنسبة لضغط دم 120/75،

$$MAP \approx 75 + 45/3 = 90 \text{ mm Hg}.$$

هذا النموذج شائع للأوعية الدموية على مستوى القلب، لكن MAP يخ تلف بتأثير الجاذبية. فى البالغ القائم، يكون حوالى 62 مم زئبق فى ال شرايين الرئيسية للرأس و180 مم زئبق فى الشرايين الرئيسية للكاحل.

إن متوسط الضغط الشريانى هو الذى يؤثر أكثر على خطر الإصا بة باضطرابات مثل تصلب الشرايين، فشل الكلى، الوذمة، تمدد الأوع ية الدموية، والإغماء)syncope( )الإغماء(. لذلك، فإن أهمية منع ارت فاع ضغط الدم المفرط واضحة. ومن الوسائل الرئيسية للجسم لتحقي ق ذلك هى قدرة الشرايين على التمدد والارتداد خلال دورة القلب. إذا كانت الشرايين أنابيب صلبة، لكان الضغط يرتفع كثيرًا فى الانقباض وينخفض إلى ما يقرب من الصفر فى الانبساط. وكان الدم فى جميع أ نحاء الجهاز الدورى يتدفق ويتوقف، مما يضع ضغطًا كبيرًا على الأوع ية الصغيرة.
لكن الشرايين الناقلة الصحية)المرنة(تتمدد مع كل انقباض، وتمتص بعض قوة الدم المطرود، وتخزن الطاقة الكامنة. ثم، عندما يكون القل ب فى حالة انبساط، يطلق ارتدادها المرن هذه الطاقة كطاقة حركية، و يُمارس ضغطًا على الدم، ويحافظ على تدفق الدم طوال دورة القلب. ا لمرونة

---

[6] *الشريان* = artery; *التصلب* = sclerosis =

يعد النبض القوى فى الشريان الظهرى للقدم علامة جيدة على كفاءة ا لنتاح القلبى. إذا كان التروية جيدة على تلك المسافة من القلب، فمن المحتمل أن تكون جيدة فى أماكن أخرى فى الدورة الدموية الجهازية.

نصف قطر الوعاء

بالطبع، لا تتغير لزوجة الدم وأطوال الأوعية على المدى القصير. الطرق الوحيدة المهمة للتحكم فى المقاومة الطرفية من لحظة إلى أخرى هى تضيق الأوعية، وهو تضييق الوعاء، وتوسع الأوعية، وهو توسيع الوع اء.

يحدث تضيق الأوعية عندما ينقبض العضل الأملس فى الطبقة الوس طى للوعاء (tunica media). أما توسع الأوعية، فلا يحدث عن طريق أى جهد عضلى لتوسيع الوعاء، بل عن طريق الاسترخاء العضلى—اس ترخاء العضلات الملساء، مما يسمح لضغط الدم بتوسيع الوعاء. يُطلق على تضيق الأوعية وتوسعها معًا حركة الأوعية الدموية (vasomotio n). تتحكم فى حركة الأوعية جزئيًا نواة فى النخاع المستطيل فى الدما غ تُسمى مركز حركة الأوعية الدموية (vasomotor center).

ينبع تأثير نصف قطر الوعاء على تدفق الدم من احتكاك الدم من الم تحرك بجدران الوعاء. عادةً ما يظهر الدم تدفقًا طبقيًا (laminar)[7] هاد ئًا. أى أنه يتدفق على شكل طبقات—أسرع بالقرب من مركز الوعاء ح يث يواجه احتكاكًا أقل، وأبطأ بالقرب من الجدران حيث يجرّ ضد الوعا ء. يمكنك ملاحظة تأثير مشابه من منظور صفة نهر.

قد يكون التيار سريعًا جدًا فى وسط النهر ولكنه بطيء جدًا بالقرب من الشاطئ، حيث يواجه الماء مزيدًا من الاحتكاك ضد صفة النهر والقاع. عندما يتوسع الوعاء الدموى، يكون جزء أكبر من الدم فى وسط التيار وقد يكون التدفق المتوسط سريعًا جدًا. عندما ينقبض الوعاء، يكون ا لمزيد من الدم قريبًا من الجدار ويكون التدفق المتوسط أبطأ.

(الشكل 20.14).

لذا، يؤثر نصف قطر الوعاء بشكل ملحوظ على تدفق الدم. فى الو اقع، التدفق (F) يتناسب ليس فقط مع نصف قطر الوعاء (r) بل مع ا لقوة الرابعة لنصف القطر — أى $F \propto r^4$. هذا يجعل نصف القطر عام لًا قويًا جدًا فى التحكم بالتدفق. من أجل التبسيط، اعتبر وعاء دموى ا فتراضى بنصف قطر 1 مم عند الانقباض الأقصى و3 مم عند التوسع ا لكامل. عند نصف قطر 1 مم، افترض أن معدل التدفق هو 1 مل/دق يقة. وفقًا للمعادلة $F \propto r^4$، فكر كيف سيتغير التدفق مع تغير نصف ا لقطر:

if r = 1 mm, then $r^4 = 1^4 = 1$, and F = 1 mL/min. (given);

if r = 2 mm, then $r^4 = 2^4 = 16$, and F = 16 mL/min.; and

if r = 3 mm, then $r^4 = 3^4 = 81$, and F = 81 mL/min.

هذه الأرقام الفعلية ليست مهمة؛ المهم هو أن زيادة نصف القطر بم قدار 3 أضعاف فقط قد أنتجت زيادة فى التدفق بمقدار 81 ضعفًا — وهو ما يبرهن أن نصف قطر الوعاء له تأثير قوى جدًا على التدفق. الأو عية الدموية، بالفعل، قادرة على تغييرات كبيرة فى نصف القطر. على سبيل المثال، يوضح الشكل 20.15 تجربة حيث تسبب قطرة من الإ بينفرين فى انقباض الشريان الصغير إلى ثلث قطره فى حالة الاسترخا ء.

[7] *لَطبقة* = طبقة

ئيسى له هو الضرر التراكمى الناتج عن الجذور الحرة، التى تتلف تدريجياً الأن سجة المرنة وغيرها من أنسجة جدران الشرايين—تماماً مثل الأربطة المطاط ة القديمة التى تصبح أقل مرونة. عامل آخر مساهم هو تصلب الشرايين، وهو نمو ترسبات الدهون فى جدران الشرايين (انظر التعمق 19.4). يمكن أن تص بح هذه الترسبات متكلسة *لويحات معقدة*، مما يمنح الشرايين قساوة مقرم شة أو تشبه العظم. نتيجة لهذه التغيرات التنكسية، يرتفع ضغط الدم مع التق دم فى العمر. ضغوط الدم الشائعة فى سن 20 حوالى 123/76 للذكور و116/ 72 للإناث. للأشخاص الأصحاء فى سن 70، تكون ضغوط الدم النموذجية حوا لى 145/82 و159/85 للذكور والإناث على التوالى.

ارتفاع ضغط الدم (ضغط الدم العالى) يُعتبر عادةً ضغط دم راحة م زمن أعلى من 130/80. (ارتفاع ضغط الدم المؤقت الناتج عن العاط فة أو التمرين ليس ارتفاع ضغط دم.) من بين التأثيرات الأخرى، يمكن لارتفاع ضغط الدم أن يضعف الشرايين ويسبب تمدد الأوعية الدمو ية، كما يعزز تطور تصلب الشرايين (انظر التعمق 20.6). انخفاض ضغ ط الدم هو ضغط دم راحة منخفض مزمن. قد يكون نتيجة لفقدان الد م، الجفاف، فقر الدم، أو عوامل أخرى، وهو أمر طبيعى لدى الأشخاص الذين يقتربون من الموت. لا يوجد معيار رقمى محدد لانخفاض ضغ ط الدم.

يتم تحديد ضغط الدم فسيولوجياً بواسطة ثلاثة متغيرات رئيسية: النتاح القلبى، حجم الدم، والمقاومة للتدفق. تم مناقشة النتاح القلبى فى القسم 19.6. يتم تنظيم حجم الدم بشكل رئيسى بواسطة الكليتين، اللتين لهما تأثير أكبر من أى عضو آخر على ضغط الدم (بافتراض وج ود قلب ينبض). يتم مناقشة تأثيرهما على ضغط الدم فى الفصلين 2 3 و24. المقاومة للتدفق هى موضوعنا التالى للنظر.

20.2ب المقاومة المحيطية

المقاومة الطرفية هى المعارضة لتدفق الدم فى الأوعية البعيدة عن ال قلب. لن يمارس الدم المتحرك أى ضغط على جدار الوعاء إلا إذا واجه على الأقل بعض المقاومة فى الاتجاه التالى. لذلك، الضغط والمقاومة ليسا متغيرين مستقلين فى تدفق الدم—بل يتأثر الضغط بالمقاومة، ويتأثر التدفق بكليهما. وتعتمد المقاومة بدورها على ثلاثة متغيرات ن نظر فيها الآن: لزوجة الدم، طول الوعاء، ونصف قطر الوعاء.

لزوجة الدم

تنشأ لزوجة الدم بشكل رئيسى من بروتينات البلازما (الألبومين) وكريات الدم الحمراء. نقص كريات الدم الحمراء (فقر الدم) أو الألبومين (نقص البروتين فى الدم) يقلل من اللزوجة ويسرع تدفق الدم. من ناحية أخرى، تزداد اللزوجة وينخفض التدفق فى حالات مثل كثرة الحمر الجسدية والجفاف.

طول الوعاء

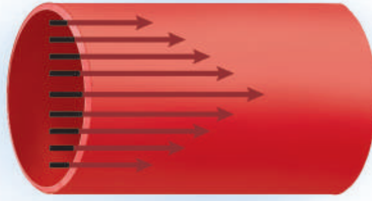
كلما قطع السائل مسافة أطول عبر أنبوب، زادت الاحتكاكات التراكمى ة التى يواجهها؛ وبالتالى ينخفض الضغط والتدفق مع المسافة. ويرجع ذلك جزئياً إلى هذا السبب، إذا قمت بقياس متوسط ضغط الشريان فى شخص مستلقٍ، فستحصل على قيمة أعلى فى الذراع، على سبيل المثال، مقارنة بالكاحل. فى شخص مستلقٍ

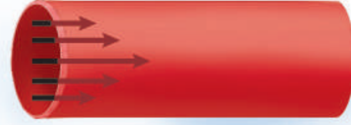
طبق ما تعرفه

افترض وجود وعاء بنصف قطر 1 مم وكان التدفق فيه 3 مل/دق
يقة، ثم توسع الوعاء إلى نصف قطر 5 مم. ما هو معدل التدفق ا
لجديد؟

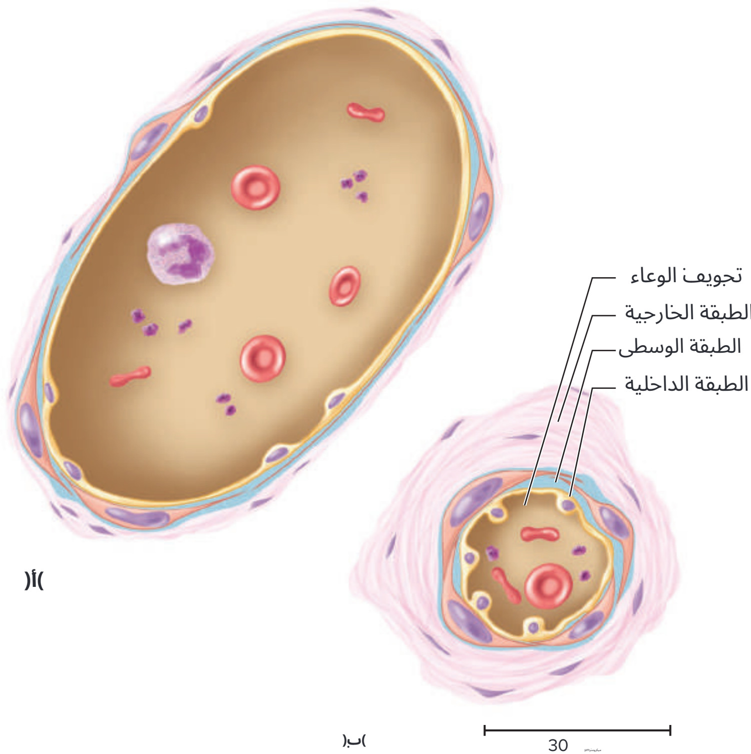
لدمج هذه المعلومات، فكر كيف يختلف سرعة تدفق الدم من جز
ء إلى آخر فى الدورة الدموية الجهازية
)الجدول 20.1(. التدفق هو الأسرع فى الشريان الأورطى لأنه وعاء كبير
وقريب من مصدر الضغط، البطين الأيسر. من الشريان الأورطى إلى ا
لشعيرات الدموية، تنخفض السرعة لثلاثة أسباب:)1(لقد قطع الدم م
سافة أكبر، لذا فإن الاحتكاك قد أبطأه.
)2(الشرايين الدقيقة والشعيرات الدموية لها أنصاف أقطار أصغر وبا
لتالى تقدم مقاومة أكبر.)3(على الرغم من أن أنصاف أقطار الأوعية ا
لفردية تصبح أصغر كلما ابتعدنا عن القلب، إلا أن عدد الأوعية ومساح
ة المقطع العرضى *الإجمالية* تزداد بشكل مستمر. الشريان الأورطى له
مساحة مقطع عرضى تتراوح بين 3 إلى 5 سم^2، فى حين أن المساحة ا
لمقطعية الإجمالية لجميع الشعيرات الدموية تبلغ حوالى 4500 إلى 6
000 سم^2. وبالتالى، يتم توزيع حجم معين من دم الشريان الأورطى ع
لى مساحة إجمالية أكبر فى الشعيرات الدموية، مما
تشكل مجتمعة مسارًا أوسع فى مجرى الدم. تمامًا كما يتباطأ الماء ع
ندما يتدفق جدول جبلى ضيق إلى بحيرة، يتباطأ الدم عند دخوله مسار
ات ذات مساحة أو حجم إجمالى أكبر.

من الشعيرات الدموية إلى الوريد الأجوف، تزداد السرعة مرة أخر
ى. أحد الأسباب لذلك هو أن الأوردة أكبر من الشعيرات الدموية، لذا
فإنها تخلق مقاومة أقل. علاوة على ذلك، نظرًا لأن العديد من الشعيرا
ت الدموية تلتقى فى وريد صغير، والعديد من الأوردة الصغيرة تلتقى
فى وريد أكبر، يتم دفع كمية كبيرة من الدم إلى قناة أصغر تدريجيًا —
مثل الماء الذى يتدفق من بحيرة إلى مجرى مائى خارجى وبالتالى يتد
فق بسرعة أكبر مرة أخرى. ومع ذلك، لاحظ أن الدم فى الأوردة لا يس
تعيد أبدًا السرعة التى كان عليها فى الشرايين الكبيرة. وذلك لأن الأور
دة أبعد عن رأس الضغط)القلب(ولأنها أكثر مرونة من الشرايين —
فهى تتمدد لاستيعاب المزيد من الدم، وهذا يقلل من الضغط والتدف
ق.
الشرايين الصغيرة هى نقطة التحكم الأكثر أهمية فى المقاومة ال
طرفية وتدفق الدم لأن)1(تقع على الجوانب القريبة من حُقول الشع
يرات الدموية، لذا فهى فى أفضل موقع لتنظيم التدفق إلى الشعيرات
الدموية وبالتالى تنظيم التروية للأعضاء؛)2(عددها يفوق بكثير أى ف
ئة أخرى من الشرايين.





الشكل 20.14 التدفق الطبقى وتأثير نصف قطر الوعاء. يتدفق الد
م ببطء أكبر بالقرب من جدار الوعاء، كما هو موضح بالأسهم الأقصر، مقارنةً
بمركز الوعاء.
يمكن تفسير كل سهم على أنه المسافة التى قد يقطعها خلية دم افتراضية
فى فترة زمنية معينة، تختلف حسب بعدها عن جدار الوعاء.)أ(عندما يكو
ن نصف قطر الوعاء كبيرًا، يكون متوسط سرعة التدفق مرتفعًا.)ب(عندما
يكون نصف القطر أقل، يكون متوسط السرعة أقل لأن جزءًا أكبر من الدم ى
تباطأ بسبب الاحتكاك مع جدار الوعاء.



الشكل 20.15 القدرة على التضيق الوعائى فى شريان صغير.)أ(شر
يان صغير متوسع)مقطع عرضى(.)ب(نفس الشريان الصغير، عند ن
قطة تبعد 1 مم فقط عن المنطقة الموضحة فى الجزء)أ(. تسبب قطرة
واحدة من الإبينفرين المطبقة هنا فى تضيق الشريان الصغير إلى حوالى
ثلث قطره المتوسع. مرسوم على مقياس من صور المجهر الإلكترونى الناق
ل.

الجدول 20.1	سرعة الدم فى الدائرة الجهازية	
السرعة*	**قطر التجويف ا لنموذجى**	**الوعاء الدموى**
٠٠٢١ مم/ث	٥.٢ سم	الأبهر
٥١ مم/ث	٠٢–٠٥ ميكرومتر	السُرَيينات الصغيرة
0.4 مم/ثانية	٥–٩ ميكرومتر	الشعيرات الدموية
5 مم/ثانية	20 ميكرومتر	الأوردة الدقيقة
80 مم/ثانية	3 سم	الوريد الأجوف السفلى

*سرعة الانقباض القصوى فى الشريان الأورطى؛ السرعة المتوسطة أو الثابتة فى الأوعية الأخرى، بافتراض
عدم وجود تضيق وعائى علوى يزيد من المقاومة

توفر أكثر نقاط التحكم عدداً؛ و)3(فهى أكثر عضلية نسبةً إلى أقطارها من أى فئة أخرى من الأوعية الدموية وقادرة بشكل كبير على تغيير نصف القطر. ال شرايين الدقيقة وحدها تمثل حوالى نصف المقاومة الطرفية الكلية للنظام الد ورى. ومع ذلك، تؤثر الشرايين والأوردة الأكبر حجماً أيضًا على المقاومة الطرف ية من خلال تضيقها وتوسعها الخاص.

20.2ح تنظيم ضغط الدم وتدفقه

الحركة الوعائية، كما رأينا، هى وسيلة سريعة وقوية لتغيير ضغط الدم وتدفقه. هناك ثلاث طرق للتحكم فى نشاط الأوعية الدموية: آليات م حلية، عصبية، وهرمونية. سننظر الآن فى كل من هذه التأثيرات على ا لتوالى.

التحكم المحلى

التنظيم الذاتى هو قدرة الأنسجة على تنظيم إمدادها الدموى بنفسها. إ ذا كانت الأنسجة غير مروية بشكل كافٍ، فإنها تصبح ناقصة الأكسجي ن وتتراكم نواتج الأيض)النفايات(— مثل H_2CO، K^+، H^+، اللاكتات، وا لأدينوسين على سبيل المثال. هذه العوامل تحفز توسع الأوعية، مما يزيد من تدفق الدم. ومع توصيل مجرى الدم للأكسجين وحمل نواتج ا لأيض بعيدًا، تعاود الأوعية التضيق.
وبذلك، يتم إنشاء توازن ديناميكى للحفاظ على الثبات الداخلى يقوم ب ضبط التروية حسب احتياجات الأنسجة الأيضية.
بالإضافة إلى ذلك، تقوم الصفائح الدموية، وخلايا البطانة، والأنس جة المحيطة بالأوعية بإفراز مجموعة متنوعة من المواد الكيميائية الم وثرة على الأوعية التى تحفز توسع الأوعية فى حالات مثل الصدمة، الا لتهاب، والتمرين. وتشمل هذه الهيستامين، البراديكينين، والبروستاج لاندينات. كما أن احتكاك الدم المتدفق مع خلايا البطانة يحفزها على إ فراز البروستاسايكلين وأكسيد النيتريك، وهما موسعان للأوعية.

إذا انقطع إمداد الدم إلى نسيج لفترة ثم استُعيد، فإنه غالبًا ما يظ هر فرط التروية التفاعلى — زيادة فوق المستوى الطبيعى للتدفق. قد يكون ذلك بسبب تراكم نواتج الأيض خلال فترة نقص التروية. يُرى فرط التروية التفاعلى عندما يحمر الجلد بعد الخروج من البرد. كما يحد ث فى الساعد إذا تم نفخ كفة ضغط الدم لفترة طويلة ثم تم تخفيفها.

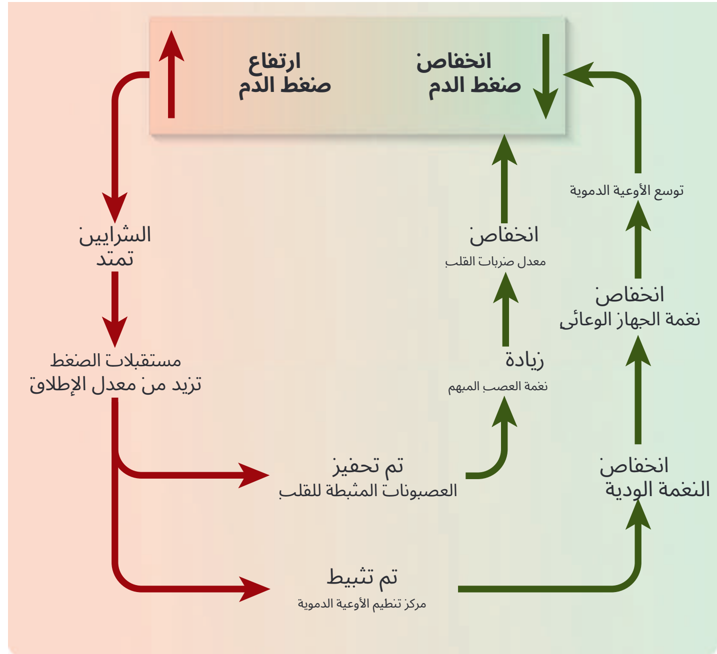
على مدى فترة أطول، يمكن للنسيج الناقص الأكسجين زيادة ترو يته الخاصة عن طريق تكوين الأوعية الدموية[8] — نمو أوعية دموية جد يدة. هناك ثلاث حالات يكون فيها هذا مهمًا: إعادة نمو بطانة الرحم بعد كل دورة شهرية، وتطور كثافة أعلى من الشعيرات الدموية فى ع ضلات الرياضيين المدربين جيدًا، ونمو التحويلات الشريانية حول الان سدادات فى الدورة التاجية. هناك أهمية سريرية كبيرة فى تحديد كي فية تحكم عوامل النمو والمثبطات فى تكوين الأوعية.

تفرز الأورام الخبيثة عوامل نمو تحفز نمو شبكة كثيفة من الأوعية لتغذ يتها وتوفير الغذاء لخلايا السرطان. أحد الأساليب فى علاج السرطان هو استخدام أدوية تمنع تكوين الأوعية فى الورم، مما يقطع إمداد الدم إلى الورم لتقليصه أو قتله.

[8]أنجيو = الأوعية؛ جينيسيس = الإنتاج

التحكم العصبى

بالإضافة إلى التحكم المحلى، تخضع الأوعية الدموية للتحكم عن بُعد م ن قبل الجهاز العصبى المركزى والجهاز العصبى الذاتى. يمارس مركز ا لتحكم الوعائى فى النخاع المستطيل السيطرة الودية على الأوعية الدم وية فى جميع أنحاء الجسم.)لا تمتلك العضلات الحلقية قبل الشعيرا ت الدموية تعصيبًا، وتستجيب فقط للمؤثرات المحلية والهرمونية.(تحفز الألياف العصبية الودية معظم الأوعية الدموية على التضيق، وت سمح بتوسع الأوعية عن طريق تقليل معدل إطلاق النبضات العصبية)*النغمة الودية*( )انظر القسم 15.3ح والشكل 15.10(.
مركز تنظيم الأوعية هو مركز تكاملى لثلاث ردود فعل تلقائية—ردو د فعل الضغط)بارورفلكس(، ردود فعل الكيمياء)كيموريفلكس(، ورد ا لفعل الإقفارى النخاعى. البارورفلكس هو استجابة سلبية للتغذية الراجع ة لتغيرات ضغط الدم)انظر الأشكال 15.1، 20.4(. يتم اكتشاف التغيرا ت بواسطة مستقبلات الضغط فى تجاويف الشريان السباتى. تنقل الأع صاب البلعومية اللسانية الإشارات باستمرار من تجاويف الشريان الس باتى إلى جذع الدماغ. عندما يرتفع ضغط الدم، يرتفع معدل الإشارات. ه ذا يمنع الخلايا العصبية الودية القلبية والتنظيمية للأوعية ويقلل من النغ مة الودية، ويحفز الألياف المبهمة إلى القلب. وبالتالى، يقلل من معدل ضربات القلب والنتاج القلبى، ويوسع الشرايين والأوردة، ويخفض ضغ ط الدم)الشكل 20.16(. عندما ينخفض ضغط الدم عن المستوى الطبي عى، تحدث ردود الفعل المعاكسة ويرتفع ضغط الدم مرة أخرى إلى الم ستوى الطبيعى.
الانعكاسات الباروريسب مهمة بشكل رئيسى فى التنظيم قصير الأ مد لضغط الدم، على سبيل المثال فى التكيف مع التغيرات فى الوضع ية. ربما قفزت بسرعة من السرير وشعرت بدوار قليل لفترة قصيرة.



الشكل 20.16 التحكم بالتغذية الراجعة السلبية فى ضغط الدم.
ارتفاع ضغط الدم يُفعّل هذه الدورة من التفاعلات التى تهدف إلى إعادة ضغط الدم إلى الوضع الطبيعى.

[9]بارو = الضغط

تقوم الكلى بذلك، مما يقلل من حجم الدم والضغط.
لها أيضًا تأثير موسع للأوعية بشكل عام يساعد على
خفض ضغط الدم.

- هرمون مضاد لإدرار البول. يعمل ADH بشكل أساسى على تعزيز احتباس الماء، ولكن عند تركيزات مرضية عالية يكون أيضًا موسعًا للأوعية—ومن هنا اسمه البديل، *الأرجينين فاسو- بريسي ن*. كلا هذين التأثيرين يرفعان ضغط الدم.
- الأدرينالين والنورأدرينالين. ترتبط هذه الكاتيكولامينات الصادرة م ن الغدة الكظرية والجهاز العصبى الودى بمستقبلات α-الأدرينا لية على العضلات الملساء لمعظم الأوعية الدموية. هذا يحفز تضيق الأوعية ويرفع ضغط الدم.

طبق ما تعرفه

مثبطات الرينين هى أدوية تُستخدم لعلاج ارتفاع ضغط الدم. اشرح كيف تعتقد أنها ستُنتج التأثير المرغوب.)تلميح: انظر "ال كلى" فى القسم 17.3h.(

20.2د غرضان للحركة الوعائية

تخدم الحركة الوعائية)تضيق وتوسع الأوعية(غرضين فسيولوجيين: ر فع أو خفض عام لضغط الدم فى جميع أنحاء الجسم، وتعديل انتقائى لتروية عضو معين وإعادة توجيه الدم من منطقة إلى أخرى فى الجسم.

يتطلب الارتفاع العام فى ضغط الدم تحكمًا مركزيًا—وهو فعل م ن مركز الحركة الوعائية فى النخاع أو بواسطة هرمونات تدور فى النظام بأكمله، مثل الأنجيوتنسين II أو الأدرينالين. يؤدى تضيق الأوعية الوا سع إلى رفع ضغط الدم الكلى لأن "الحاوية" بأكملها)الأوعية الدموية(تضغط على كمية ثابتة من الدم، مثل ارتفاع ضغط الماء عند عصر زجا جة ماء بلاستيكية. يمكن أن يكون هذا مهمًا فى دعم تروية الدماغ فى حالات مثل النزيف أو الجفاف، حيث ينخفض حجم الدم بشكل كبير.

وعلى العكس من ذلك، يؤدى التوسع الوعائى العام إلى خفض ضغط الدم فى جميع أنحاء النظام.

يمكن تحقيق إعادة توجيه الدم وتغيرات التروية فى الأعضاء الفرد ية إما عن طريق التحكم المركزى أو المحلى.
على سبيل المثال، خلال فترات التمرين، يمكن للجهاز العصبى الودى أ ن يقلل بشكل انتقائى من تدفق الدم إلى الكليتين والجهاز الهضمى. وم ع ذلك، كما رأينا سابقًا، يمكن لتراكم المستقلبات فى نسيج معين أن ى حفز التوسع الوعائى المحلى ويزيد من تدفق الدم إلى ذلك النسيج دون ا لتأثير على الدورة الدموية فى أماكن أخرى من الجسم.
إذا تضيق شريان معين، ينخفض الضغط أسفل التضيق ويرتفع ا لضغط أعلاه. إذا كان بإمكان الدم أن يسير عبر مسارين، وكان أحدهما يقدم مقاومة أكبر من الآخر، فإن معظم الدم يتبع مسار أقل مقاومة. تتيح هذه الآلية للجسم إعادة توجيه الدم من عضو إلى آخر.

على سبيل المثال، إذا كنت تغفو فى كرسى بعد وجبة كبيرة)ال شكل 20.17أ(، فإن التضيق الوعائى يغلق تدفق الدم إلى 90% أو أك ثر من الشعيرات الدموية فى عضلات الأطراف السفلية)والعضلات فى أماكن أخرى(. هذا يرفع ضغط الدم فوق الأطراف، حيث ينبثق من الأبهر فرع، الشريان المساريقى العلوى، الذى يزود الأمعاء الدقيقة. ال مقاومة العالية فى الدورة الدموية للأطراف والمقاومة المنخفضة فى ا لشريان المساريقى العلوى

يحدث هذا فى تلك اللحظة لأن الجاذبية تسحب الدم إلى الأوردة الكبيرة فى البطن والأطراف السفلية عند الوقوف، مما يقلل من العائد الوريدى إلى القلب والنتاج القلبى إلى الدماغ. عادةً، تستجيب مستقبلات الضغط بسرعة لهذا الانخفاض فى الضغط وتعيد التروية الدماغية)انظر الشكل 1.8(.
ومع ذلك، فإن ردود فعل مستقبلات الضغط ليست فعالة فى تصحيح ارتفاع ضغط الدم المزمن. خلال يومين أو أقل، تقوم بضبط نقطة التعيين الخاصة بها إلى ضغط الدم الأعلى وتحافظ على التوازن الديناميكى عند هذا المستوى الجديد.

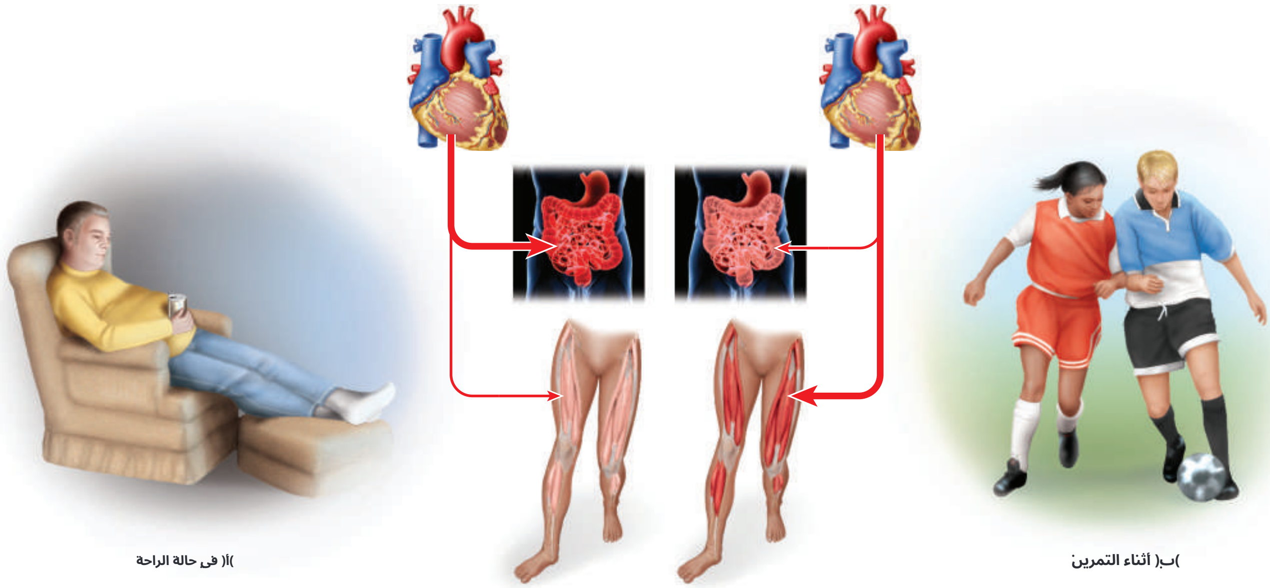
الانعكاس الكيميائى هو استجابة تلقائية للتغيرات فى كيمياء الدم، وخاصة فى درجة الحموضة وتركيزات الأكسجين)O_2(وثانى أكسيد الكربون)CO_2(. يتم تحفيزه بواسطة مستقبلات كيميائية تُسمى الأجسام الأبهرية)aortic bodies(والأجسام السباتية)carotid bodies(التى تم وصفها سابقًا. الدور الأساسى ل لانعكاسات الكيميائية هو تعديل التنفس استجابةً لتغيرات كيمياء الدم، ولكن لها دور ثانوى فى الانعكاسات الوعائية. تحفز نقص الأكسجين فى الدم)نقص ا لتأكسج(، وفرط ثانى أكسيد الكربون)زيادة CO_2(، والحموضة)انخفاض درجة ح موضة الدم(المستقبلات الكيميائية وتعمل من خلال مركز التحكم الوعائى لإحد اث تضيق واسع للأوعية الدموية. هذا يزيد من ضغط الدم الكلى، مما يزيد من تدفق الدم إلى الرئتين ومعدل تبادل الغازات.
تقوم مستقبلات الكيمياء أيضًا بتحفيز التنفس، لذا فإن زيادة التهوية فى الرئتين تتناسب مع زيادة التروية الدموية لهما. زيادة أحدهما دون الآخر)تدفق الهواء دون تدفق الدم، أو العكس(سيكون ذا فائدة قليلة.

الانعكاس الإقفارى النخاعى)iss-KEE-mic(هو استجابة تلقائية لانخفاض التروية الدموية فى الدماغ. الإقفار)iss-KEE-me-ah(هو تدفق دم غير كافٍ لأى نسيج أو عضو. تقوم النخاع المستطيل بمراقبة إمداداها الدموى الخاص وتنشط الانعكاسات التصحيحية عندما تشعر بحالة إقفار.
خلال ثوانٍ من انخفاض التروية، ترسل مراكز القلب والأوعية الدموية فى النخاع إشارات تعاطفية إلى القلب والأوعية الدموية تُسرع القلب وتُضيّق الأوعية. هذه الإجراءات ترفع ضغط الدم وتهدف إلى استعادة ا لتروية الدماغية الطبيعية. كما تستقبل مراكز القلب والأوعية الدموية مدخلات من مراكز دماغية أخرى، لذا يمكن للتوتر والغضب والاستثارة رفع ضغط الدم. يعمل الوطاء من خلال مركز الأوعية الدموية لإعادة توجيه تدفق الدم استجابةً للتمرين أو تغيرات درجة حرارة الجسم.

التحكم الهرمونى

الهرمونات هى وسيلة أخرى للتحكم عن بُعد فى التروية الدموية. تؤثر جميع الهرمونات التالية على ضغط الدم، بعضها من خلال تأثيراتها الو عائية وبعضها من خلال وسائل مثل تنظيم توازن الماء:

- الأنجيوتنسين II. هذا هو موسع وعائى قوى يرفع ضغط الدم. يتم توضيح تخليقه وعمله فى الشكل 23.15. يتطلب تخليقه *إ نزيم تحويل الأنجيوتنسين)ACE(*.
  غالبًا ما يُعالج ارتفاع ضغط الدم بأدوية تسمى *مثبطات ACE*، ا لتى تمنع عمل هذا الإنزيم، مما يخفض مستويات الأنجيوتن سين II وضغط الدم.
- الألدوستيرون. هذا "هرمون احتباس الملح" يعزز بشكل رئيس ى احتباس Na^+ بواسطة الكلى. وبما أن الماء يتبع الصوديو م أسموزيًا، فإن احتباس Na^+ يعزز احتباس الماء، وبالتالى يدعم ضغط الدم.
- الببتيدات المدرّة للصوديوم. هذه الهرمونات، التى يفرزها ا لقلب، تعاكس عمل الألدوستيرون. فهى تزيد من إفراز Na^+



الشكل 20.17 إعادة توجيه تدفق الدم استجابةً للاحتياجات الأيضية المتغيرة.)أ(بعد الوجبة، تحظى الأمعاء بالأولوية وتتلقى العضلات الهيكلية تدفقًا نسبيًا ق ليلًا.)ب(أثناء التمرين، تحظى العضلات بأولوية أعلى. يحدث التغير الوعائى الذى يعيد توجيه هذا التدفق الدموى بشكل رئيسى على مستوى الشرايين الصغيرة فى الأعضاء المعنية.

توجه الدم إلى الأمعاء الدقيقة، حيث يحتاج الجسم إلى امتصاص العنا صر الغذائية التى تهضمها.
من ناحية أخرى، خلال التمرين الشديد، تتوسع الشرايين فى رئتي ك، والدورة التاجية، والعضلات. لزيادة الدورة الدموية فى هذه المسارا ت، يجب أن يحدث تضيق وعائى فى أماكن أخرى، مثل الكليتين والج هاز الهضمى)الأشكال 20.17ب، 20.18(.
هذا يقلل من تدفق الدم إليها مؤقتًا، مما يجعل المزيد من الدم متاحًا للأعضاء المهمة أثناء التمرين. وهكذا، يمكن للتغيرات المحلية فى الم قاومة المحيطية أن تحول تدفق الدم من نظام عضوى إلى آخر لتلبية ا لأولويات الأيضية المتغيرة للجسم.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

7. اشرح لماذا يؤدى انخفاض ضغط الانبساط إلى رفع ضغط ا لنبض حتى لو ظل ضغط الانقباض دون تغيير. كيف يمكن أن يؤ ثر هذا الارتفاع فى ضغط النبض سلبًا على الأوعية الدمو ية؟
8. اشرح لماذا يكون تدفق الدم الشريانى نابضًا بينما لا يكون تدفق الدم الوريدى كذلك.
9. ما هى المتغيرات الثلاثة التى تؤثر على المقاومة الطرفية لتدفق الد م؟ أى من هذه المتغيرات هو الأكثر قدرة على التغير من دقيقة إلى أخرى؟
10. ما هى الآليات الثلاثة الأساسية للتحكم فى نصف قطر الأوعية ا لدموية؟ اشرح كل منها بإيجاز.
11. اشرح كيف يعمل الانعكاس الباروري كأمثلة على التوازن الد اخلى ورد الفعل السلبى.
12. اشرح كيف يمكن للجسم تحويل تدفق الدم من نظام عضوى إلى آخ ر.

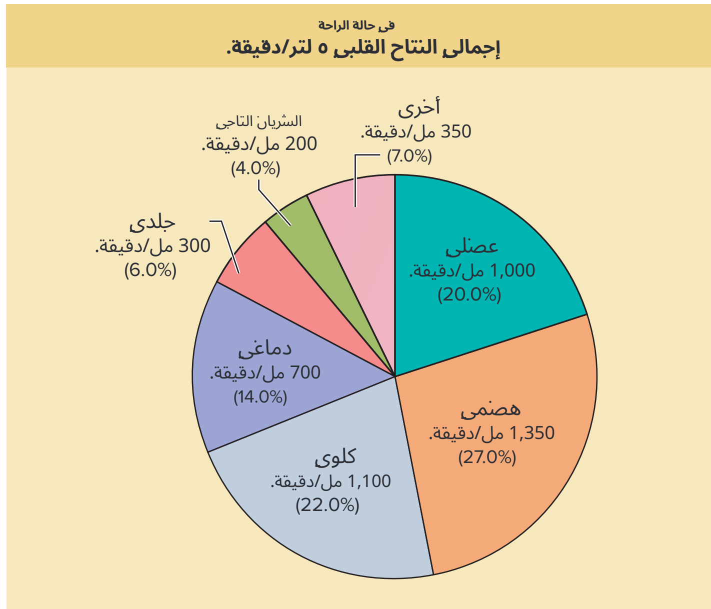
الشعيرات الدموية وتبادل السوائل 20.3

النتائج التعليمية المتوقعة

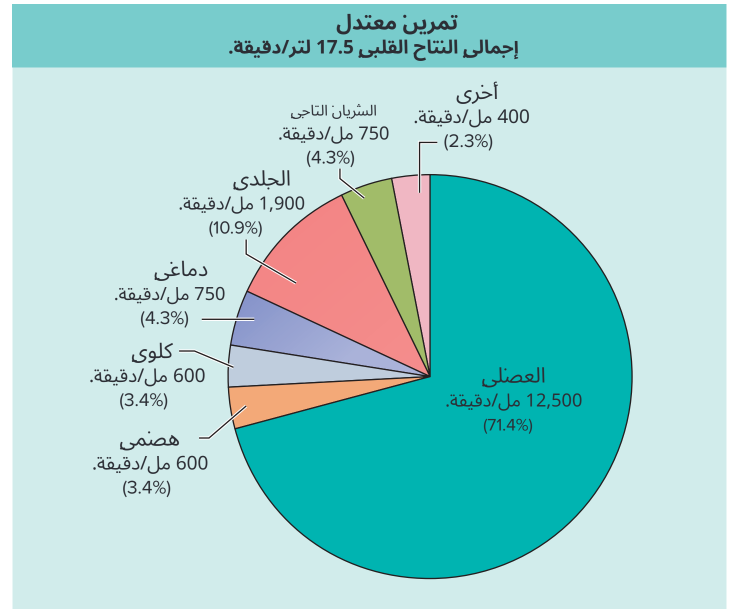
عندما تكمل هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. تصف كيف تنتقل المواد من الدم إلى الأنسجة المحيطة؛
ب. تصف وتحسب القوى التى تمكن الشعيرات الدموية من إفراز وا متصاص السوائل؛ و
ج. تصف أسباب وتأثيرات الوذمة.

فقط من 250 إلى 300 مل)5%(من الدم موجود فى الشعيرات الدم وية فى أى وقت معين. ومع ذلك، هذا هو أهم دم فى الجسم، لأنه ع بر جدران الشعيرات الدموية تحدث التبادلات بين الدم والأنسجة المح يطة. يشير مصطلح تبادل الشعيرات الدموية إلى هذه الحركة ذات الا تجاهين للسوائل.
تشمل المواد الكيميائية التى يفرزها دم الشعيرات الدموية إلى ا لأنسجة المحيطة بالأوعية الأكسجين، الجلوكوز والمواد الغذائية الأخرى ، الأجسام المضادة، والهرمونات. وتشمل المواد الكيميائية التى تمت صها الشعيرات الدموية ثانى أكسيد الكربون والنفايات الأخرى، والعد يد من نفس المواد التى تفرزها: الجلوكوز والأحماض الدهنية التى تُط لق من المخازن فى الكبد والأنسجة الدهنية؛ الكالسيوم والمعادن الأخ رى التى تُطلق من العظام؛ الأجسام المضادة التى تفرزها الخلايا المناع ية؛ والهرمونات التى تفرزها الغدد الصماء. وهكذا، هناك حركة ذات ا تجاهين للعديد من المواد الكيميائية بين الدم والنسيج الصام، حيث تخرج من الشعيرات الدموية فى نقطة وتدخل فى نقطة أخرى. إلى جا نب كل هذه المذاب، هناك حركة كبيرة للماء داخل وخارج مجرى الدم عبر جدران الشعيرات الدموية. كما يحدث تبادل مهم عبر جدران الأور دة الصغيرة، لكن الشعيرات الدموية هى موقع التبادل الأكثر أهمية لأ نها تفوق الأوردة الصغيرة عددًا بكثير.

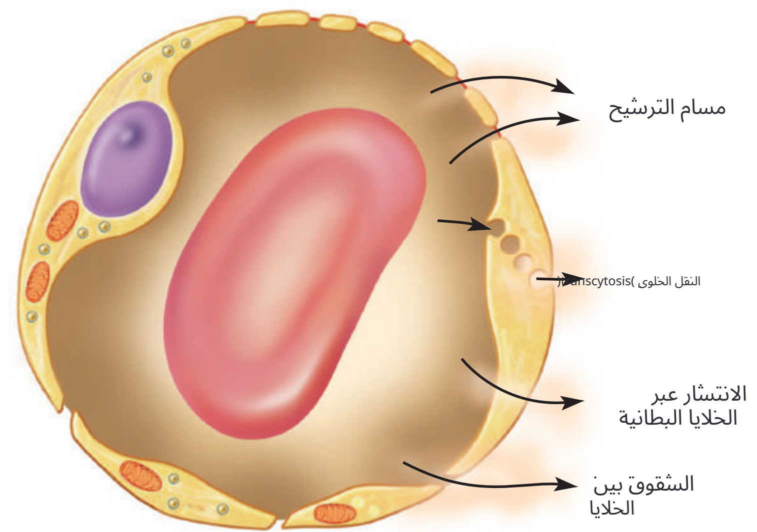


)أ(



)ب(

الشكل ٨١.٠٢ الاختلافات فى تدفق الدم الجهازى حسب حالات النشاط البدنى.)أ(التدفق النسبى للدم فى حالة الراحة.)ب(التدفق النسبى للدم أثناء التمرين.



الشكل ٩١.٠٢ مسارات تبادل السوائل عبر جدار الشعيرات الدموية. تتحرك المواد عبر جدار الشعيرات الدموية من خلال مسام الترشيح)فى ال شعيرات المثقبة فقط(، عن طريق النقل الخلوى)transcytosis(، عن طر يق الانتشار عبر الخلايا البطانية، ومن خلال الشقوق بين الخلايا.

النقل الخلوى عبر الخلايا)Transcytosis(هو عملية تقوم فيها خلايا البطانة بج مع المواد من جانب واحد من غشاء البلازما عن طريق الالتقام الخلوى)pinocytosis أو الالتقام الخلوى المُوجه بالمستقبلات)receptor-mediated endocytosis()، ثم تنقل الحويصلات عبر الخلية، وتفرغ المادة على الجانب الآخر عن طريق الإفراز الخ لوى)exocytosis( )انظر الشكل 3.22(. من المحتمل أن يشكل هذا فقط جزءًا صغيرً ا من تبادل المذاب عبر جدار الشعيرات الدموية، لكن الأحماض الدهنية، والألبومين، والأجسام المضادة، وبعض الهرمونات مثل الأنسولين تنتقل عبر البطانة بهذه الآلية.

آليات تبادل الشعيرات الدموية صعبة الدراسة كمياً لأنه من الصع ب قياس الضغط والتدفق فى مثل هذه الأوعية الصغيرة. ومع ذلك، تم قياس ضغط الدم فى بعض الشعيرات الدموية الجلدية التمثيلية عند 3 2 مم زئبق فى الطرف الشريانى و15 مم زئبق فى الطرف الوريدى، على بعد 1 مم فقط. ينخفض ضغط الدم فى الشعيرات الدموية بسرعة بس بب الاحتكاك الكبير الذى يواجهه الدم فى مثل هذه الأوعية الضيقة. ي ستغرق مرور خلية دم حمراء واحدة من 1 إلى 2 ثانية عبر شعيرة دموية نموذجية، حيث تسير بسرعة حوالى 0.7 مم/ثانية.

تمر المواد الكيميائية عبر جدار الشعيرة الدموية بثلاث طرق)الشكل 20.19(:

1. سيتوبلازم الخلايا البطانية؛
2. الشقوق بين الخلايا البطانية؛ و
3. مسام الترشيح فى الشعيرات الدموية المثقبة.

آليات الحركة عبر جدار الشعيرة الدموية هى *الانتشار، النقل الخلوى، الترشيح،* و *إعادة الامتصاص.*

20.3أ الانتشار والنقل الخلوى

أهم آلية للتبادل هى الانتشار للماء والذائبات. الجلوكوز والأكسجين، ل كونهما أكثر تركيزًا فى الدم الجهازية مقارنة بسائل الأنسجة، ينتشران خارج الدم. ثانى أكسيد الكربون والنفايات الأخرى، لكونها أكثر تركيزًا فى سائل الأنسجة، تنتشر إلى داخل الدم.)الأكسجين O_2وثانى أكسيد الكربون CO_2ينتشران فى اتجاهين متعاكسين فى الرئتين.(يكون هذ ا الانتشار ممكنًا فقط إذا كان المذاب قادرًا إما على النفاذ عبر أغشية ا لبلازما لخلايا البطانة أو إيجاد ممرات كبيرة بما يكفى للمرور من خلالها — وهى مسام الترشيح والفجوات بين الخلايا. المواد القابلة للذوبان فى الدهون مثل الهرمونات الستيرويدية، والأكسجين O_2 وثانى أكس يد الكربون CO_2تنتشر بسهولة عبر أغشية البلازما. المواد غير القابلة للذوبان فى الدهون، مثل الجلوكوز والإلكتروليتات، يجب أن تمر عبر قنوات الغشاء، أو مسام الترشيح، أو الفتحات بين ا لخلايا. عادةً ما تُحتجز الجزيئات الكبيرة مثل البروتينات.

20.3ب الترشيح وإعادة الامتصاص

يتم دفع تبادل السوائل في الشعيرات الدموية إلى حد كبير بواسطة ال توازن بين الترشيح والتناضح الذي نوقش في الفصل 3. عادةً، يتسر ب السائل من الطرف الشرياني للشعيرة الدموية ويعود إليها بالتناضح عند الطرف الوريدي. يقوم هذا السائل بتوصيل المواد إلى الخلايا ويغ سل نفاياتها الأيضية. قد يبدو غريبًا أن الشعيرة الدموية يمكن أن تفقد السائل عند نقطة معينة وتعيد امتصاصه عند نقطة أخرى. يحدث هذ ا نتيجة لتغير التوازن بين التناضح والضغط الهيدروستاتيكي)الشكل 20.20(. الضغط الهيدروستاتيكي هو القوة الفيزيائية التي يمارسها ال سائل على سطح مثل جدار الشعيرة الدموية. ضغط الدم هو مثال على ذلك.

تمتلك الشعيرة الدموية النموذجية ضغط دم يبلغ حوالي 30 ملم زئبق عند الطرف الشرياني. كان من الصعب قياس الضغط الهيدرو ستاتيكي في الفراغ الخلالي، لكن القيمة النموذجية هي حوالي –3 ملم زئبق. تشير القيمة السالبة إلى أن هذا هو شفط طفيف، مما يساعد على سحب السائل خارج الشعيرة الدموية.)سيتم تمثيل هذه القوة فيما بعد كـ 3 out(في هذه الحالة، يعمل الضغط الهيدروستاتيكي الإيج ابي داخل الشعيرة الدموية والضغط الخلالي السلبي في نفس الاتجاه، مما يخلق قوة كلية خارجية تبلغ حوالي 33 ملم زئبق.

تُقاوم هذه القوى بواسطة الضغط التناضحي الغرواني)COP(، و هو الجزء من الضغط التناضحي الناتج عن البروتين. يحتوي الدم على COP يبلغ حوالي 28 ملم زئبق، ويرجع ذلك أساسًا إلى ا لألبومين. يحتوي سائل الأنسجة على أقل من ثلث تركيز البروتين في بلازما الدم وله COP يبلغ حوالي 8 ملم زئبق. الفرق بين COP في الدم وسائل الأنسجة يسمى الضغط الأونكوتي: $28_{in} - 8_{out} = 20_{in}$.
يميل الضغط الأونكوتي إلى سحب الماء إلى داخل الشعيرة الدموية عن طريق ا لتناضح، معارضًا القوة الخارجية للضغط الهيدروستاتيكي.
تنتج هذه القوى المتعارضة صنغط الترشيح الصافي)NFP(بقيمة 13 ملم زئب ق خارج الشعيرة الدموية، كما يلي:

الضغط الهيدروستاتيكي

صنغط الدم		30 out
الضغط الخلالي	+	3خارج
الضغط الهيدروستاتيكي الصافي		33 خارج

صنغط الأسموزي الغرواني)COP(

صنغط الأسموزي الغرواني للدم		28 داخل
صنغط الأسموزي الغرواني لسائل النسيج	–	8خارج
صنغط الأسموزي الصافي)صنغط الأونكوتيك(		20 في

صنغط الترشيح الصافي)NFP(

الضغط الهيدروستاتيكي الصافي		33 خارج
صنغط الأونكوتيك	–	20 في
صنغط الترشيح الصافي		13 خارج



الشكل 20.20 قوى ترشيح وإعادة امتصاص الشعيرات الدموية.لاحظ التحول من الترشيح الصافي عند الطرف الشرياني)يسار(إلى إعادة الامتصاص الصا فية عند الطرف الوريدي)يمين(. A&PR

معظم الأماكن حوالى 85% من السوائل التى ترشحها. أما الباقى فيتم امتصاصه وإعادته إلى الدم عبر الأوعية اللمفاوية، كما هو موضح فى ا لفصل التالى.

بالطبع، الماء ليس المادة الوحيدة التى تعبر جدار الشعيرات الدم وية عن طريق الترشيح والامتصاص. المواد الكيميائية المذابة فى الما ء تُسحب معه وتنتقل عبر جدار الشعيرات الدموية إذا لم تكن كبيرة ح دًا. تُسمى هذه العملية "سحب المذيب"، وستكون مهمة فى مناقشا تنا حول وظيفة الكلى فى الفصل 23.

تغيرات فى ترشيح وامتصاص ال شعيرات الدموية

الأرقام فى المناقشة السابقة هى أمثلة فقط؛ الطروف تختلف من مكا ن لآخر فى الجسم ومن وقت لآخر فى نفس الشعيرات الدموية. عادةً ما تمتص الشعيرات الدموية معظم السوائل التى ترشحها، ولكن لي س دائمًا. تحتوى الكلى على شبكات شعيرية تسمى "الكبيبات" حيث يكون هناك قليل أو لا يوجد امتصاص؛ فهى مخصصة بالكامل للتر شيح. أما الشعيرات الدموية الحويصلية فى الرئتين، فهى مخصصة تقريبًا بالكامل للامتصاص حتى لا تمتلئ الفراغات الهوائية بالسوائل.

تختلف نشاطات الشعيرات الدموية أيضًا من لحظة لأخرى. فى الأ نسجة المسترخية، تكون معظم العضلات العاصرة قبل الشعيرية متقل صة والشعيرات الدموية منهارة. ضغط دم الشعيرات الدموية منخفض جدًا)إن وجد تدفق على الإطلاق(، ويميل الامتصاص إلى السائد. عندما تصبح الأنسجة أكثر نشاطًا أيضيًا، يزداد تدفق الشعيرات الدموية. فى ال عضلات النشطة، يرتفع ضغط الشعيرات الدموية إلى درجة يتجاوز فيها الترشيح الامتصاص على طول الشعيرة الدموية بأكملها. تتراكم السوائل فى العضلات وتزيد من حجمها العضلى بنسبة تصل إلى 25%. كما أن نفاذية الشعيرات الدموية تخضع أيضًا لتأثيرات كيميائية.
تفرز الأنسجة المصابة مواد كيميائية مثل المادة P، البراديكينين، واله يستامين، التى تزيد من النفاذية والترشيح.

20.3ح الوذمة

الوذمة هى تراكم فائض من السوائل فى نسيج ما. وغالبًا ما تظهر على شكل تورم فى الوجه، الأصابع، البطن، أو الكاحلين.
)الشكل 20.21(، ولكن يحدث أيضًا فى الأعضاء الداخلية حيث تكون آثاره

يسبب صافى القوة المحركة)NFP(بقيمة 13 مم زئبق خروج حوالى 0.5% من بلازما الدم من الشعيرات الدموية عند الطرف الشريانى.
أما عند الطرف الوريدى، فإن ضغط دم الشعيرات الدموية يكون أ قل—حوالى 10 مم زئبق. جميع الضغوط الأخرى تظل فى الأساس ثا بتة. وبالتالى، نحصل على ما يلى:

الضغط الهيدروستاتيكى

ضغط الدم		10 خارج
الضغط الخلالى	+	3خارج
الضغط الهيدروستاتيكى الصافى		13 خارج

ضغط إعادة الامتصاص الصافى

ضغط الأونكوتيك		20 فى
الضغط الهيدروستاتيكى الصافى	−	13خارج
ضغط إعادة الامتصاص الصافى		7 إنسْ

القوة السائدة هى قوة داخلية عند الطرف الوريدى لأن الضغط الاسموزى يتجاوز ضغط الترشيح. ضغط الامتصاص الصافى البالغ 7 مم زئبق إلى الد اخل يتسبب فى امتصاص الشعيرات الدموية للسوائل عند هذا الطرف.
الآن يمكنك أن ترى لماذا تفرز الشعيرات الدموية السوائل عند أح د الأطراف وتمتصها عند الطرف الآخر. الضغط الوحيد الذى يتغير بش كل كبير من الطرف الشريانى إلى الطرف الوريدى هو ضغط دم الشعير ات الدموية، وهذا التغير هو المسؤول عن الانتقال من الترشيح إلى ا لامتصاص. مع وجود ضغط امتصاص قدره 7 مم زئبق وضغط ترشيح صافى قدره 13 مم زئبق، قد يبدو أن كمية أكبر بكثير من السوائل س تغادر الشعيرات الدموية مقارنة بما تعيده. ومع ذلك، نظرًا لأن الشعير ات الدموية تتفرع على طولها، فهناك عدد أكبر منها عند الطرف الوريد ى مقارنة بالطرف الشريانى، مما يعوض جزئيًا الفرق بين ضغوط التر شيح والامتصاص. كما أن قطرها عند الطرف الوريدى يكون عادةً ضع ف قطرها عند الطرف الشريانى، لذا هناك مساحة سطحية أكبر للشع يرات الدموية متاحة لامتصاص السوائل مقارنة بإفرازها. ونتيجة لذلك ، تمتص الشعيرات الدموية فى



الشكل 20.21 الوذمة اللمفية. على اليمين امرأة تبلغ من العمر 52 عامًا تعانى من وذمة لمفية شديدة فى الساقين و القدمين؛ وعلى اليسار، للمقارنة، امرأة تبلغ من العمر 21 عامًا بدون وذمة.
انسداد الأوعية اللمفاوية هو أحد عدة أسباب للوذمة.
MedicImage/Alamy Stock Photo

مخفية عن الأنظار. تحدث الوذمة عندما يتسرب السائل إلى النسيج بمعدل أسرع من امتصاصه. لها ثلاثة أسباب أساسية:

1. زيادة ترشيح الشعيرات الدموية. يمكن للعديد من الحالات زيادة معدل ترشيح الشعيرات الدموية وتراكم السائل في الأن سجة. على سبيل المثال، يؤدي فشل الكلى إلى احتباس الماء وا رتفاع ضغط الدم، مما يرفع ضغط الدم في الشعيرات الدموية ومعدل الترشيح. الهيستامين يوسع الشرايين الصغيرة وير فع ضغط الشعيرات الدموية ويجعل جدار الشعيرات أكثر نفاذ ية. عادةً ما تصبح الشعيرات الدموية أكثر نفاذية مع التقدم في العمر، مما يعرض كبار السن لخطر متزايد للوذمة. يرتفع ضغط الدم في الشعيرات الدموية أيضًا في حالات ضع ف العائد الوريدي—تدفق الدم من الشعيرات الدموية عائدًا إ لى القلب. كما سنرى في القسم التالي، يعتمد العائد الوريدي الح يد على النشاط العضلي. لذلك، تعد الوذمة مشكلة شائعة بين الأ شخاص المحصورين في الفراش أو على الكرسي المتحرك. فشل البطين الأيمن للقلب يميل إلى التسبب في تراكم الضغط في الأوردة الجهازية والشعيرات الدموية، مما يزيد من صافي ترشيح الشعيرات الدموية ويؤدي إلى وذمة جهاز ية. فشل البطين الأيسر يسبب تراكم الضغط في الرئتين، مما يسبب وذمة رئوية.

2. تقليل إعادة امتصاص الشعيرات الدموية. تعتمد إعادة امتصاص الشعيرات الدموية على الضغط الأسموزي، الذي يتناسب مع تركيز الألبومين في الدم. لذلك، يؤدي نقص الألبومين *(نقص البروتين في الدم)* إلى حدوث وذمة عن طريق تقليل إعادة امتصاص سائل الأنسجة. وبما أن الألبومين يُنتج في الكبد، فإن أمراض الكبد مثل التليف تميل إلى التسبب في نقص البروتين في الدم والوذمة. تُرى الوذمة عادةً في مناطق المجاعة بسبب نقص البروتين الغذائي)انظر التعمق 18.1(. كما ينتج نقص البروتين في الدم والوذمة عادةً عن الحروق الشديدة، بسبب فقدان البروتين من أسطح الجسم التي لم تعد مغطاة بالجلد، ومن أمراض الكلى التي تسمح بفقدان البروتين في البول.

٣.انسداد التصريف اللمفاوي. اللمفاويات، التي وُصفت بالتفصيل في الفصل التالي، هي شبكة من الأوعية ذات الاتجاه الواحد تجمع السائل من الأنسجة وتعيده إلى مجرى الدم. يمكن أن يؤدي انسداد هذه الأوعية أو الاستئصال الجراحي للغدد اللمفاوية إلى تعطيل تصريف السائل وحدوث تراكم للسائل النسيجي في الطرف البعيد عن الانسداد.

الوذمة لها عواقب مرضية متعددة. مع احتقان الأنسجة بالسوائل ، تتعرض عملية توصيل الأكسجين وإزالة الفضلات للخلل، وقد تبدأ ا لأنسجة بالموت. الوذمة الرئوية تشكل تهديدًا للاختناق حيث تحل ال سوائل محل الهواء في الرئتين، والوذمة الدماغية يمكن أن تسبب ال صداع والغثيان وأحيانًا الهذيان والتشنجات والغيبوبة. في حالات الوذ مة الشديدة، يمكن أن ينتقل الكثير من السائل من الأوعية الدموية إل ى فراغات الأنسجة بحيث ينخفض حجم الدم وضغطه إلى مستوى م نخفض بما يكفي للتسبب في صدمة دموية)وهي موصوفة في الق سم التالي(.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

13. اذكر الآليات الثلاث لتبادل الشعيرات الدموية واربط كل واحدة ببنية جدران الشعيرات الدموية.

14. ما القوى التي تفضل ترشيح الشعيرات الدموية؟ وما القوى التي تفضل إعادة الامتصاص؟

15. كيف يمكن للشعيرة الدموية أن تتحول من دور ترشيحي سائد في و قت ما إلى دور إعادة امتصاص سائد في وقت آخر؟

16. اذكر الأسباب الثلاثة الأساسية للوذمة واشرح لماذا يمكن أن تكون ا لوذمة خطيرة.

20.4 العودة الوريدية والصدمة الدورية

النتائج التعليمية المتوقعة

عندما تكمل هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. شرح كيفية عودة الدم في الأوردة إلى القلب؛

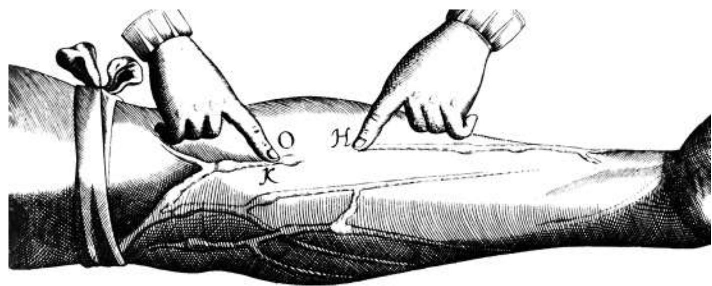
ب. مناقشة أهمية النشاط البدني في العودة الوريدية؛

ج. مناقشة عدة أسباب للصدمة الدورية؛ و

د. تسمية ووصف مراحل الصدمة.

اكتشف عالم التشريح الإيطالي هيرونيموس فابريشيوس)1537–16 19(الصمامات في الأوردة لكنه لم يفهم وظيفتها. تُرك ذلك لطالبه، و يليام هارفي، الذي أجرى تجارب بسيطة على الصمامات يمكنك إعادة تنفيذها بسهولة. في الشكل 20.22، قام هارفي، الباحث، بالضغط ع لى وريد عند النقطة H لمنع تدفق الدم من المعصم نحو الكوع. باستخ دام إصبع آخر، قام بعصر الدم من الوريد حتى النقطة O، وهي الصمام الأول القريب من H. عندما حاول دفع الدم للأسفل، توقف عند ذلك ا لصمام. لم يستطع الدم المرور أكثر من ذلك، مما تسبب في تورم الور يد عند تلك النقطة. يمكن للدم أن يتدفق من اليمين إلى اليسار عبر ذ لك الصمام ولكن ليس من اليسار إلى اليمين. لذلك، كما استنتج هار في بشكل صحيح، تضمن الصمامات تدفق الدم في اتجاه واحد نحو ا لقلب.

يمكنك بسهولة إظهار عمل هذه الصمامات في يدك الخاصة. اح عل يدك ثابتة، أسفل مستوى الخصر، حتى تبرز الأوردة على ظهرها.) لا تستخدم رباطًا ضاغطًا!(اضغط على وريد بالقرب من مفاصل أصا بعك، وأثناء الضغط عليه، استخدم إصبعًا آخر أو مساعدًا لعصر ذلك ا لوريد نحو المعصم. ينهار الوريد أثناء دفع الدم منه، وإذا أزلت الإصبع ا لثاني، فلن يمتلئ مرة أخرى. تمنع الصمامات الدم من التدفق عائدًا إ ليه من الأعلى. عندما تزيل الإصبع الأول، مع ذلك، يمتلئ الوريد من الأسفل.



الشكل 20.22 رسم توضيحي من كتاب ويليام هارفي De Motu Cordis (1 628). أظهرت هذه التجارب وجود صمامات أحادية الاتجاه في أوردة الذراع ين. انظر النص للتفسير.

في المسافة بين O و H، ماذا)إن حدث شيء(سيحدث إذا رفع ا لمجرب إصبعه من النقطة O؟ ماذا إذا رفع إصبعه من النقطة H؟ ولماذا ؟

UniversalImagesGroup/Getty Images

تزيد انقباضات العضلات من العائد الوريدى بواسطة مضخة العضلات الهيكلية. ثم يؤدى زيادة العائد الوريدى إلى زيادة النتاج القلبى، وهو أم ر مهم لتروية العضلات فى الوقت الذي تحتاجه فيه أكثر.

على العكس من ذلك، عندما يكون الشخص ساكنًا، يتجمع الدم فى الأطراف لأن ضغط الوريد لا يكون كافيًا لتجاوز وزن الدم ودفعه صعودًا. يسمى هذا التجمع بتجمع الدم الوريدى. لتوضيح هذا التأثير، ا رفع يدًا واحدة أسفل الخصر ويدًا أخرى فوق الرأس. حافظ على استرخا ء اليدين وثباتهما؛ لا تثن أصابعك ولا تشكل قبضة. بعد حوالى دقيقة واحدة، اجمع يديك بسرعة وقارن بين راحتى اليدين. من المحتمل أن تبدو اليد المرفوعة فوق الرأس أفتح من الطبيعى لأن دمها قد تصرف منها؛ بينما ستكون اليد المرفوعة أسفل الخصر أكثر احمرارًا من الط بيعى بسبب تجمع الدم الوريدى فى أوردة وشعيرات اليد. يمكن أن ى كون تجمع الدم الوريدى مزعجًا للأشخاص الذين يجب عليهم الوقوف لفترات طويلة—مثل الصرافين، الحلاقين، أعضاء الجوقة، والأشخاص فى الخدمة العسكرية—وعند الجلوس ساكنًا لفترة طويلة، كما فى موق عد ضيق خلال رحلة جوية طويلة. إذا تراكم الدم بشكل كافٍ فى الأطرا ف، قد ينخفض النتاج القلبى إلى درجة لا يتم فيها تروية الدماغ بشكل كافٍ وقد يعانى الشخص من دوار أو إغماء.يمكن عادةً منع ذلك عن طريق شد عضلات الساق وغيرها من العضلات بشكل دورى للحفاظ على نشاط مضخة العضلات الهيكلية. غالبًا ما يقوم طيارو الطائرات ا لعسكرية ورواد الفضاء بمناورات عالية الجاذبية)High-G(قد تسبب تجمع الدم فى البطن والأطراف السفلية، مما يؤدى إلى فقدان الرؤية أ و الوعى. لمنع ذلك، يرتدون بدلات G-pressurized التى تنتفخ وتش دد على الأطراف السفلية أثناء هذه المناورات؛ بالإضافة إلى ذلك، يم كنهم شد عضلات البطن لمنع تجمع الدم الوريدى والإغماء.

▶▶▶ طبق ما تعرفه

لماذا لا يكون تجمع الدم الوريدى مشكلة عندما تكون نائمًا وتكون مضخة العضلات الهيكلية غير نشطة؟

20.4ح الصدمة الدموية

الصدمة الدموية)لا يجب الخلط بينها وبين الصدمة الكهربائية أو الص دمة الشوكية(هى أى حالة يكون فيها النتاج القلبى غير كافٍ لتلبية الا حتياجات الأيضية للجسم. جميع أشكال الصدمة الدموية تنقسم إلى فئتين:)1(الصدمة القلبية، الناتجة عن ضخ غير كافٍ من القلب، عادةً نتيجة احتشاء عضلة القلب؛ و)2(صدمة انخفاض العائد الوريدى)LV R(، حيث يكون النتاج القلبى منخفضًا بسبب عودة كمية قليلة جدًا من الدم إلى القلب.

هناك ثلاثة أشكال رئيسية لصدمة انخفاض العائد الوريدى:

1. الصدمة الناجمة عن نقص حجم الدم، وهى الشكل الأكثر شيو عًا، تنتج عن فقدان حجم الدم نتيجة للنزيف، أو الصدمة، أو قرح ا لنزيف، أو الحروق، أو الجفاف. الجفاف هو سبب رئيسى ل لوفاة بسبب التعرض للحرارة. فى الطقس الحار، يفرز الجسم ما يصل إلى 1.5 لتر من العرق فى الساعة. ينتقل الماء من مجر ى الدم لتعويض السوائل النسيجية المفقودة فى العرق، وقد ى نخفض حجم الدم إلى مستوى لا يسمح بالحفاظ على الدورة الد موية الكافية.
2. صدمة انسداد العائد الوريدى تحدث عندما يضغط أى جسم، م ثل ورم متنامٍ أو تمدد وعائى، على وريد ويعيق تدفق دمه.
3. صدمة تجمع الدم الوريدى تحدث عندما يكون لدى الجسم حجم دم كلى طبيعى، لكن كمية كبيرة منه تتجمع فى الجزء السفلى من ال جسم. يمكن أن يحدث ذلك نتيجة لفترات طويلة من الوقوف

20.4أ آليات العائد الوريدى

تدفق الدم العائد إلى القلب، والذى يُسمى العائد الوريدى، يتم تحقي قه بواسطة خمسة آليات:

1. تدرج الضغط. الضغط الناتج عن القلب هو القوة الأهم فى تدفق الأوردة، على الرغم من أنه أضعف بكثير فى الأوردة مقارنة بالشرايين. يتراوح الضغط فى الأوردة الدقيقة بين 12 إلى 18 ملم زئبق، والضغط عند النقطة التى تدخل فيها الأوردة الأجوفة إلى القلب، والتى تُسمى المركزية ضغط الأوردة، يبلغ متوسطه 4.6 ملم زئبق. وبالتالى، هناك تدرج ضغط وريدى)ΔP(يتراوح بين 7 إلى 13 ملم زئبق يُفضّل تد فق الدم نحو القلب. يزداد تدرج الضغط والعودة الوريدية عن دما يزداد حجم الدم. كما تزداد العودة الوريدية فى حالة التضيق ا لوعائى العام والواسع النطاق لأن ذلك يقلل من حجم الجهاز الد ورى ويرفع ضغط الدم وتدفقه.
2. الجاذبية. عندما تكون جالسًا أو واقفًا، يعود الدم من رأسك ور قبتك إلى القلب ببساطة عن طريق التدفق نزولًا عبر الأوردة ا لكبيرة فوق القلب. وبالتالى، تكون الأوردة الكبيرة فى الرقبة عاد ةً منهارة أو شبه منهارة، ويكون ضغطها الوريدى قريبًا من ال صفر. ومع ذلك، فإن الجيوب الجافية فى الدماغ لها جدران أكثر صلابة ولا يمكن أن تنهار.
ضغطها منخفض يصل إلى −10 ملم زئبق، مما يخلق خطر حدوث *انسداد هوائى* إذا تم ثقبها)انظر التعمق 20.3(.
3. مضخة العضلات الهيكلية. فى الأطراف، تحيط الأوردة بالعضلا ت ويتم تدليكها بواسطة العضلات. تقوم العضلات المنقبضة بعصر الدم خارج الجزء المضغوط من الوريد، وتضمن الصماما ت أن يتجه هذا الدم فقط نحو القلب)انظر الشكل 20.9(.
4. مضخة الصدر)التنفسية(. *تساعد هذه الآلية فى تدفق الدم ا لوريدى من التجويف البطنى إلى التجويف الصدرى. عند الشهي ق، يتمدد التجويف الصدرى وينخفض ضغطه الداخلى، بينما يؤدى حركة الحجاب الحاجز نحو الأسفل إلى زيادة الضغط فى ال تجويف البطنى. الوريد الأجوف السفلى)IVC(*، أكبر وريد لديك، هو أنبوب مرن يمر عبر كلا التجويفين. إذا ارتفع الضغط البطنى ع لى الوريد الأجوف السفلى بينما انخفض الضغط الصدرى عليه، يتم عصر الدم صعودًا نحو القلب. ولا يُجبر الدم على العودة إ لى الأطراف السفلية لأن الصمامات هناك تمنع ذلك. بسبب مضخة الصدر، يتقلب الضغط الوريدى المركزى من 2 ملم ز ئبق عند الشهيق إلى 6 ملم زئبق عند الزفير، ويتدفق الدم بش كل أسرع عند الشهيق.

هذا ما ينتج التقلبات الطفيفة فى ضغط الدم عند الطرف الأيم ن من الرسم البيانى فى الشكل 20.13.

5. الشفط القلبى. خلال انقباض البطين، تسحب الأوتار الوترية سُرف الصمام الأذينى البطينى إلى الأسفل، مما يوسع قليلاً م ساحة الأذين. هذا يخلق شفطًا طفيفًا يجذب الدم إلى الأذينين م ن الأوردة الأجوفة والأوردة الرئوية.

20.4ب العائد الوريدى والنشاط البدنى

يزيد التمرين من العائد الوريدى لأسباب متعددة. ينبض القلب بشكل أسرع وأقوى، مما يزيد من النتاج القلبى وضغط الدم. تتوسع الأوعية ا لدموية فى العضلات الهيكلية والرئتين والدورة التاجية، مما يزيد من ا لتدفق. كما يعزز زيادة معدل التنفس وعمقه عمل مضخة الصدر.

يؤدى نقص التروية وحمصنية جذع الدماغ إلى تثبيط مراكز الجهاز الوعا
ئى والقلب، مما يسبب فقدان توتر الأوعية، وتوسع الأوعية بشكل أك
بر، وانخفاض إضافى فى ضغط الدم والنتاج القلبى.

قبل وقت طويل، قد يصبح الضرر فى أنسجة القلب والدماغ غير قابل للبقاء على قيد الحياة. يموت حوالى نصف الذين يدخلون فى الصدمة غير المعوض
ة بسببها.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

17. اشرح كيف تساعد عملية التنفس فى العائد الوريدى.
18. اشرح كيف تساعد النشاط العضلى وصمامات الأوردة فى ا
لعائد الوريدى.
19. عرّف الصدمة الدموية. ما هى بعض أسباب
صدمة انخفاض العائد الوريدى؟

20.5 المسارات الدموية الخاصة

النتائج التعليمية المتوقعة

عندما تكمل هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. اشرح كيف يحافظ الدماغ على تدفق دم مستقر؛
ب. ناقش أسباب وتأثيرات السكتات الدماغية والنوبات الإقفارية ا
لعابرة؛
ج. اشرح الآليات التى تزيد من تدفق الدم العضلى
أثناء التمرين؛ و
د. قارن ضغط الدم فى الدورة الدموية الرئوية
مع ضغط الدم فى الدورة الدموية الجهازية، واشرح لماذا
هذا الاختلاف مهم فى وظيفة الرئة.

بعض المسارات الدموية لها خصائص فسيولوجية خاصة متكيفة مع وظائف أعضائها. اثنان من هذه المسارات موصوفان فى فصول أخرى: الدورة التاجية)انظر الفصل 19(والدورة الدموية الجنينية والمشيمية)انظر الفصل 29(. هنا نلقى نظرة أقرب على الدورة الدموية إلى الدماغ، والعضلات الهيكلية، والرئتين.

20.5أ الدماغ

يتقلب إجمالى تدفق الدم إلى الدماغ أقل من أى عضو آخر)حوالى 700 مل/دقيقة فى حالة الراحة(. هذه الثباتية مهمة لأن حتى بضع ثوانٍ من نقص الأكسجين تسبب فقدان الوعى، و4 أو 5 دقائق من انعدام الأكسجين كافية للتسبب فى ضرر لا رجعة فيه. على الرغم من أن التروية الدماغية الإجمالية مستقرة إلى حد ما، يمكن تحويل تدفق الدم من جزء إلى آخر من الدماغ فى غضون ثوانٍ مع انخراط أجزاء مختلفة فى الوظائف الحركية، الحسية، أو الإدراكية)انظر الشكل 14.41(.

ينظم الدماغ تدفق دمه الخاص استجابةً للتغيرات فى ضغط الدم والكيمياء. تتوسع الشرايين الدماغية عندما ينخفض ضغط الدم النظا
مى وتتضيق عندما يرتفع، مما يقلل من تقلبات ضغط الدم الدماغى. لذلك يظل تدفق الدم الدماغى مستقرًا إلى حد كبير حتى عندما يتقل
ب متوسط ضغط الشريان)MAP(بين 60 و140 ملم زئبق. ومع ذلك، فإن متوسط ضغط الشريان أقل من 60 ملم زئبق يسبب الإغماء، ومتوسط ضغط الشريان أعلى من 160 ملم زئبق يسبب وذمة دماغية.



الشكل 20.23 صدمة تجمع الأوردة. هذا هو نتيجة شائعة للوقوف الم
طول والصلب فى وضع الانتباه الاحتفالى.

كارلو اليغرى/وكالة فرانس برس/صور غيتى

أو الجلوس)الشكل 20.23(أو نتيجة لتوسع الأوعية الدموية الواسع.
الصدمة العصبية هى شكل من أشكال صدمة تجمع الدم الوريدى التى تنتج عن فقدان مفاجئ لنغمة الأوعية الدموية، مما يسمح للأ
وعية بالتوسع. يمكن أن ينتج ذلك عن أسباب شديدة مثل إصا
بة جذع الدماغ أو أسباب طفيفة مثل الصدمة العاطفية.

تتواجد عناصر من كل من صدمة تجمع الدم الوريدى وصدمة نق
ص حجم الدم فى بعض الحالات، مثل الصدمة الإنتانية والصدمة ال
تأقية، التى تشمل كل من توسع الأوعية وفقدان السوائل عبر الشعيرا
ت الدموية ذات النفاذية غير الطبيعية. الصدمة الإنتانية تحدث عندما تحفز سموم البكتيريا توسع الأوعية وزيادة نفاذية الشعيرات الدموية. ا
لصدمة التأقية، التى نوقشت بشكل أوسع فى القسم 21.6أ، تنتج عن التعرض لمستضد يكون الشخص حساسًا له، مثل سم النحل. تحفز مركبات المستضد-الأجسام المضادة إطلاق الهيستامين، الذى يسب
ب توسعًا عامًا للأوعية وزيادة نفاذية الشعيرات الدموية.

الاستجابات للصدمات الدموية

يتم وصف الصدمة سريريًا حسب شدتها على أنها معوضة أو غير معو
ضة. فى الصدمة المعوضة، تقوم عدة آليات توازن داخلية بتحقيق ال
تعافى التلقائى. يؤدى انخفاض ضغط الدم الناتج عن انخفاض النتاج ا
لقلبى إلى تحفيز الانعكاس البارورى للسمبثاوى وإنتاج الأنجيوتنسين I
I، وكلاهما يعاكس الصدمة عن طريق تحفيز تضيق الأ
وعية الدموية. علاوة على ذلك، إذا أغمى على الشخص وسقط فى و
ضع أفقى، فإن الجاذبية تعيد تدفق الدم إلى الدماغ. ويتم تحقيق تعا
فى أسرع إذا تم رفع قدمى الشخص لتعزيز تصريف الدم من الساقين.

إذا ثبت أن هذه الآليات غير كافية، تحدث الصدمة غير المعوضة وتحدث عدة حلقات تغذية راجعة إيجابية تهدد الحياة.
ينتج عن ضعف النتاج القلبى نقص تروية واحتشاء عضلة القلب، مما يضعف الق
لب أكثر ويقلل النتاج. يمكن أن يؤدى بطء دوران الدم إلى تجلط الدم فى جميع أنح
اء الجسم، وهو ما يسمى بالتخثر المنتشر داخل الأوعية الدموية)DIC( )انظر الجدو
ل 18.8(. مع احتقان الأوعية الدموية بالدم المتجلط، يزداد سوء العائد الوريدى.

تضيق الصمام الميترالى، ومع ذلك، قد يتراجع الدم فى الدورة الدموية الرئوية، مما يرفع الضغط الهيدروستاتيكى فى الشعيرات الدموية وى سبب وذمة رئوية، احتقان، ونقص تأكسج الدم.
ميزة فريدة أخرى لشرايين الرئة هى استجابتها لنقص الأكسجة. تتوسع الشرايين الجهازية استجابةً لنقص الأكسجة المحلى وتحسن تدفق الدم إلى الأنسجة. بالمقابل، تنقبض شرايين الرئة. يشير نقص ا لأكسجة الرئوى إلى أن جزءًا من الرئة لا يتم تهويته بشكل جيد، ربما ب سبب احتقان المخاط فى مجرى الهواء أو مرض رئوى تنكسى. يؤدى ا لتضيق الوعائى فى المناطق ذات التهوية الضعيفة إلى إعادة توجيه تدفق الدم إلى المناطق ذات التهوية الأفضل.

▶▶▶ طبق ما تعرفه

ما هو تغير لون الجلد غير الطبيعى الذى قد ينتج عن وذمة رئوية؟

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

20. بأى طريقة واضحة يختلف تدفق الدم إلى الدماغ عن تدفق الدم إلى العضلات الهيكلية؟

21. كيف يختلف السكتة الدماغية عن النوبة الإقفارية العابرة؟ أى من هذين يشبه أكثر احتشاء عضلة القلب؟

22. كيف يؤثر انخفاض ضغط الدم الهيدروستاتيكى فى الدورة الرئوية على ديناميكيات السوائل فى الشعيرات الدموية هناك؟

23. قارن بين استجابة الأوعية الدموية للرئتين واستجابة عضلات الهيك ل العظمى لنقص الأكسجة.

20.6 تشريح الدورة الر ئوية

النتيجة التعليمية المتوقعة

عندما تكمل هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. تتبع مسار الدم عبر الدورة الرئوية.

تركز الأقسام الثلاثة التالية من هذا الفصل على أسماء ومسارات الشرا يين والأوردة الرئيسية. يتم وصف الدورة الرئوية هنا، ويتم وصف الشر ايين والأوردة الجهازية فى القسمين التاليين.

الدورة الرئوية)الشكل 20.24(تبدأ ب الجذع الرئوى، وهو وعاء د موى كبير يصعد بشكل مائل من البطين الأيمن ويتفرع إلى الشريانين الرئويين الأيمن والأيسر.
عند اقترابه من الرئة، يتفرع الشريان الرئوى الأيمن إلى فرعين، ويدخل كلا الفرعين الرئة عند انطباع وسطى يسمى *الهيلوم*)انظر الشكل 22 .9(. الفرع العلوى هو الشريان الفصى العلوى، الذى يخدم الفص العلو ى من الرئة. الفرع السفلى يتفرع مرة أخرى داخل الرئة ليشكل الشريا ن الفصى الأوسط و الشريان الفصى السفلى، اللذين يزودان الفصين ا لسفليين من تلك الرئة. الشريان الرئوى الأيسر أكثر تفاوتًا. يعطى عدة شرايين فصية علوية للفص العلوى قبل دخوله الهيلوم،

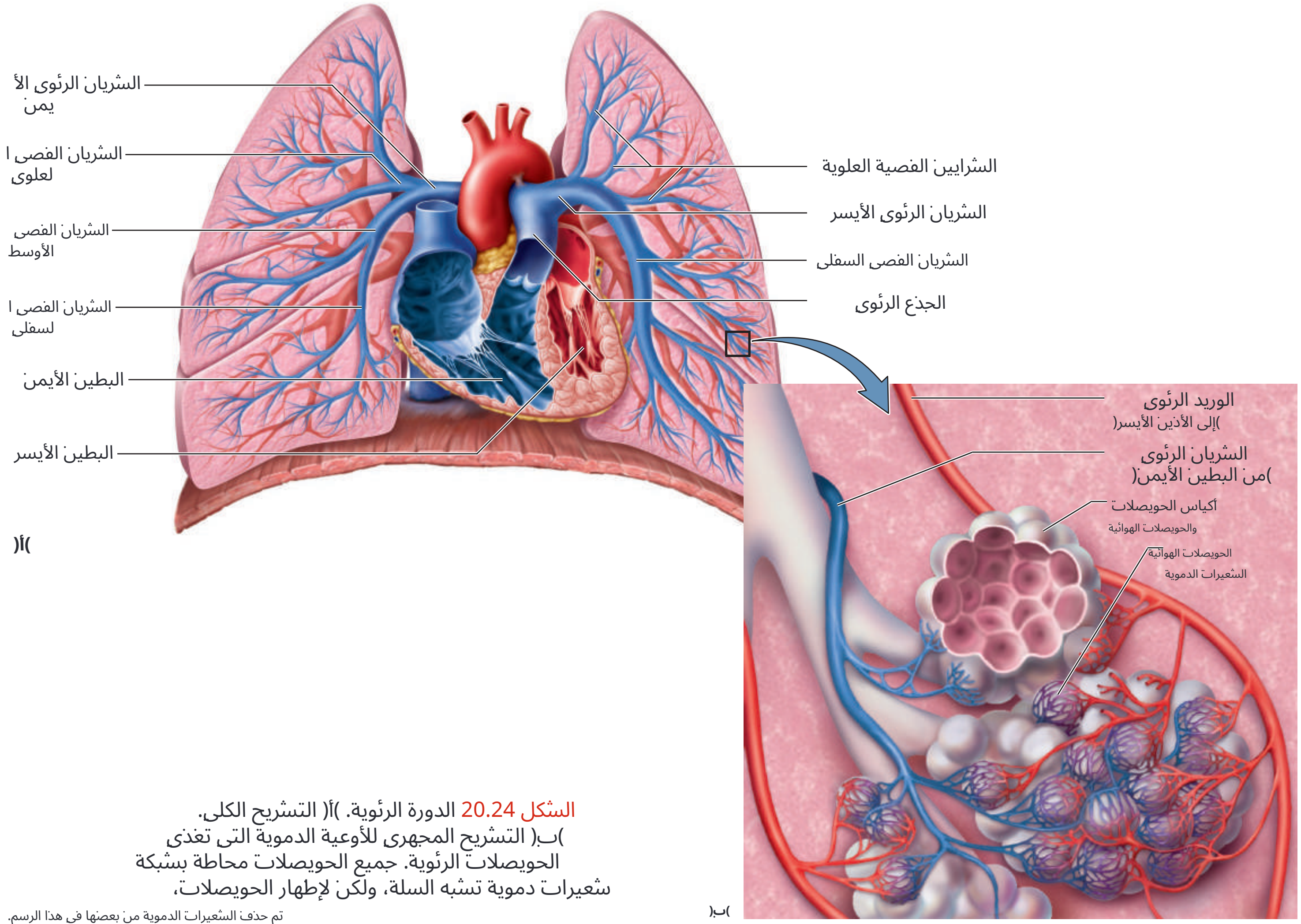
المحفز الكيميائى الرئيسى لتنظيم الدماغ الذاتى هو الرقم الهيدروجينى)pH(.
سوء التروية يؤدى إلى تراكم ثانى أكسيد الكربون)CO_2(فى الدماغ)فرط ثانى أكسيد الكربون الدماغى(. هذا يخفض الرقم الهيدروجينى لسائل الأنسجة وى حفز التوسع الوعائى المحلى، مما يحسن التروية. ومع ذلك، فإن فرط ثانى أ كسيد الكربون الشديد يثبط النشاط العصبى. الحالة المعاكسة، نقص ثانى أ كسيد الكربون، ترفع الرقم الهيدروجينى وتحفز تضيق الأوعية، مما يقلل الترو ية ويمنح ثانى أكسيد الكربون فرصة للارتفاع إلى المستوى الطبيعى.
التهوية المفرطة)زفير ثانى أكسيد الكربون أسرع من إنتاج الجسم له(تسبب نقص ثانى أكسيد الكربون، مما يؤدى إلى تضيق الأوعية الدما غية، ونقص التروية، والدوار، وأحيانًا الإغماء.
تنتج نوبات قصيرة من نقص التروية الدماغية نوبات نقص التروية ا لعابرة)TIAs(، التى تتميز بالدوار المؤقت، وفقدان الرؤية أو الحواس الأ خرى، والضعف، والشلل، والصداع، أو فقدان القدرة على الكلام)الأفازيا(. قد تنتج نوبة نقص التروية العابرة عن تشنجات فى الشرايين الدماغية ا لمريضة. تستمر من لحظة إلى عدة ساعات وغالبًا ما تكون تحذيرًا مبكرًا لسكتة دماغية وشيكة. يجب على الأشخاص الذين يعانون من نوبات ن قص التروية العابرة تلقى الرعاية الطبية الفورية لتحديد السبب باستخدا م تصوير الدماغ ووسائل تشخيصية أخرى. يجب بدء العلاج الفورى لمنع السكتة الدماغية. السكتة الدماغية، أو الحادث الوعائى الدماغى)CVA(، هى أكثر خطورة بكثير، حيث تؤدى إلى موت)احتشاء(نسيج الدماغ وغا لبًا فقدان لا رجعة فيه لوظائف الجسم. يتم مناقشة السكتة الدماغية ب شكل أوسع فى التعمق 14.2.

20.5ب العضلات الهيكلية

على عكس الدماغ، تتلقى العضلات الهيكلية تدفقًا دمويًا متغيرًا للغاية اعتمادًا على حالة الجهد المبذول. فى حالة الراحة، تكون الشرايين ال صغيرة)السُّرَيّنات(متضيقة، ويتم إغلاق معظم شبكات الشعيرات ال دموية، ويبلغ إجمالى التدفق عبر الجهاز العضلى حوالى 1 لتر/دقيقة. أ ثناء التمرين، تتوسع السُّرَيّنات استجابةً لمستقلبات العضلات مثل ا للاكتات، وأكسيد النيتريك)NO(، والأدينوسين، وثانى أكسيد الكربون)CO_2(، وأيونات الهيدروجين)H^+(. يمكن أن يزيد تدفق الدم عبر الع ضلات أكثر من 20 ضعفًا خلال التمرين الشاق، مما يتطلب تحويل ا لدم من أعضاء أخرى مثل الجهاز الهضمى والكلى لتلبية احتياجات الع ضلات العاملة.
ينقبض العضل مضغوطًا الأوعية الدموية ويعيق تدفق الدم. لهذا السبب، يسبب الانقباض الإيزومترى التعب بسرعة أكبر من الانقبا ض الإيزوتونى المتقطع. إذا ضغطت كرة مطاطية بأقصى قوة لديك د ون أن تريح قبضتك، فستشعر بتعب العضلات أسرع مما لو ضغطت واسترخيت بالتناوب.

20.5ج الرئتان

بعد الولادة، يكون الدائرة الرئوية هى المسار الوحيد الذى تحمل فيه ال شرايين الدم الفقير بالأكسجين وتحمل الأوردة الدم الغنى بالأكسجين؛ أما الوضع المعاكس فيسود فى الدائرة الجهازية. تمتلك الشرايين الرئو ية جدرانًا رقيقة قابلة للتمدد مع نسيج أقل مرونة مقارنةً بالشرايين ال جهازية. لذلك، يكون ضغط الدم فيها فقط 25/10 ملم زئبق. ضغط ال هيدروستاتيكى فى الشعيرات الدموية حوالى 10 ملم زئبق فى الدائرة الرئوية مقارنةً بمتوسط 17 ملم زئبق فى الشعيرات الدموية الجهازية. لهذا الضغط المنخفض تأثيران على الدورة الدموية الرئوية:)1(يتدفق الدم ببطء أكبر عبر الشعيرات الدموية الرئوية، وبالتالى يكون لديه وق ت أطول لتبادل الغازات؛ و)2(يتغلب الضغط الأسموزى على الضغط الهيدروستاتيكى، لذا تشارك هذه الشعيرات الدموية تقريبًا بالكامل فى الامتصاص. هذا يمنع تراكم السوائل فى جدران الحويصلات الهوا ئية وتجويفها، مما قد يعيق تبادل الغازات. فى حالة مثل



الشكل 20.24 الدورة الرئوية.)أ(التشريح الكلى.
)ب(التشريح المجهرى للأوعية الدموية التى تغذى الحويصلات الرئوية. جميع الحويصلات محاطة بشبكة شعيرات دموية تشبه السلة، ولكن لإظهار الحويصلات، تم حذف الشعيرات الدموية من بعضها فى هذا الرسم.

ثم يدخل الرئة ويعطى عددًا متغيرًا من الشرايين الفصية السفلية للفص السفلى.)الرئة اليسرى تحتوى فقط على فصين.(فى كلتا الرئتين، تؤدى هذه الشرايين فى النهاية إلى أوعية دموية دقيقة على شكل سلة تحيط بالحويصلات الهوائية الرئوية)أكياس الهواء(. هنا يتم تفريغ الدم من ثاني أكسيد الكربون CO_2 وامتصاص الأكسجين O_2. بعد مغادرة الشعيرات الحويصلية، يتدفق الدم الرئوى إلى الأوردة الدقيقة والأوردة، مما يؤدى فى النهاية إلى الأوردة الرئوية الرئيسية التى تخرج من الرئة عند الهيلوم. الأذين الأيسر للقلب يستقبل وريدين رئويين من كل جانب)انظر الشكل 19.5ب(.

الغرض من الدورة الرئوية هو بشكل أساسي تبادل CO_2 مقابل O_2 . كما تستقبل الرئتان إمدادًا دمويًا نظاميًا منفصلًا عبر *الشرايين القصبية*)انظر القسم 20.7د(.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

24. تتبع تدفق خلية دم حمراء من البطين الأيمن إلى الأذين الأيسر واذكر الأوعية الدموية على طول الطريق.

25. الرئتان لديهما إمدادان شريانان منفصلان. اشرح وظائفهما.

20.7 الأوعية الجهازية للمنطقة المحورية

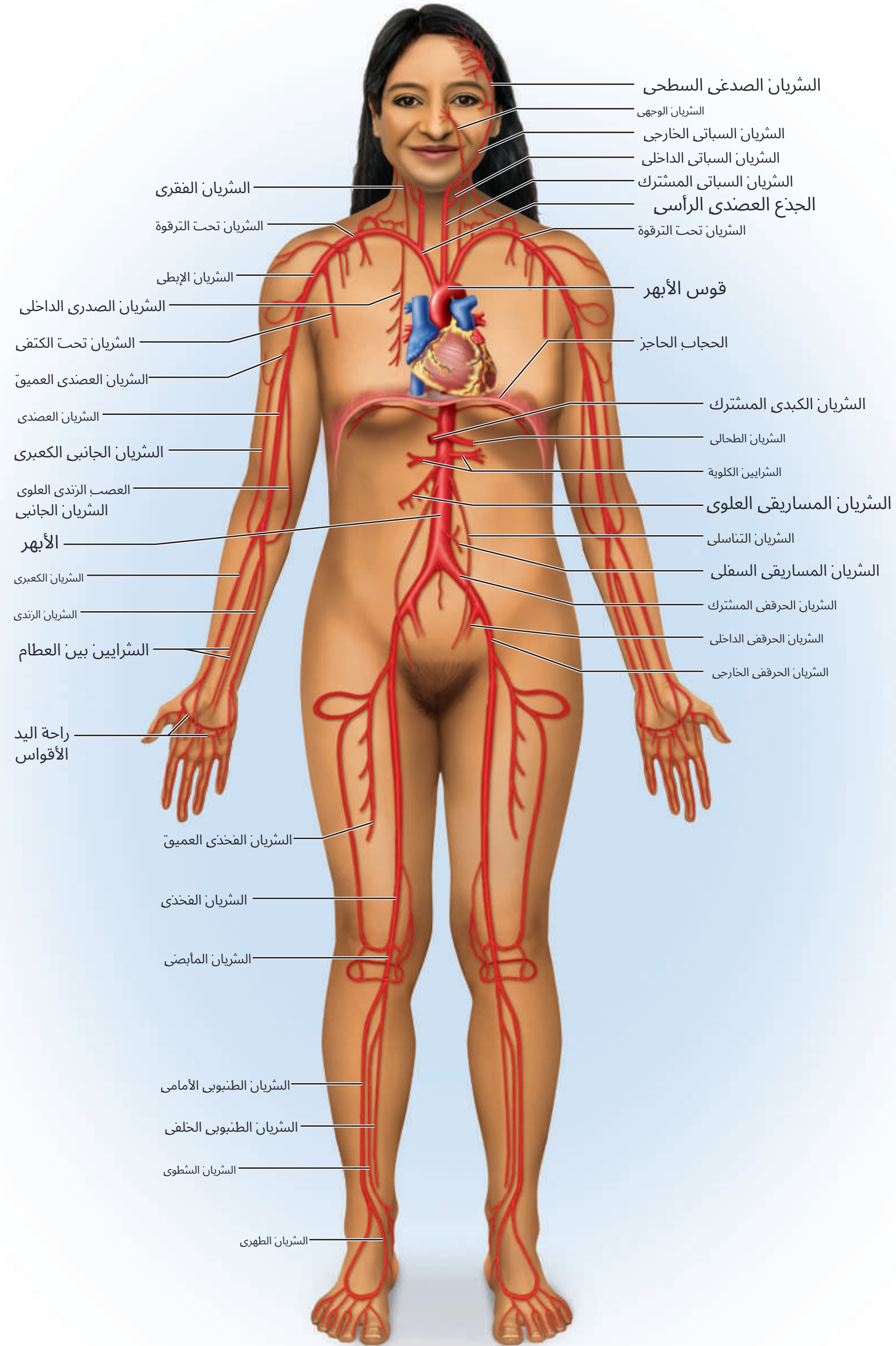
النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

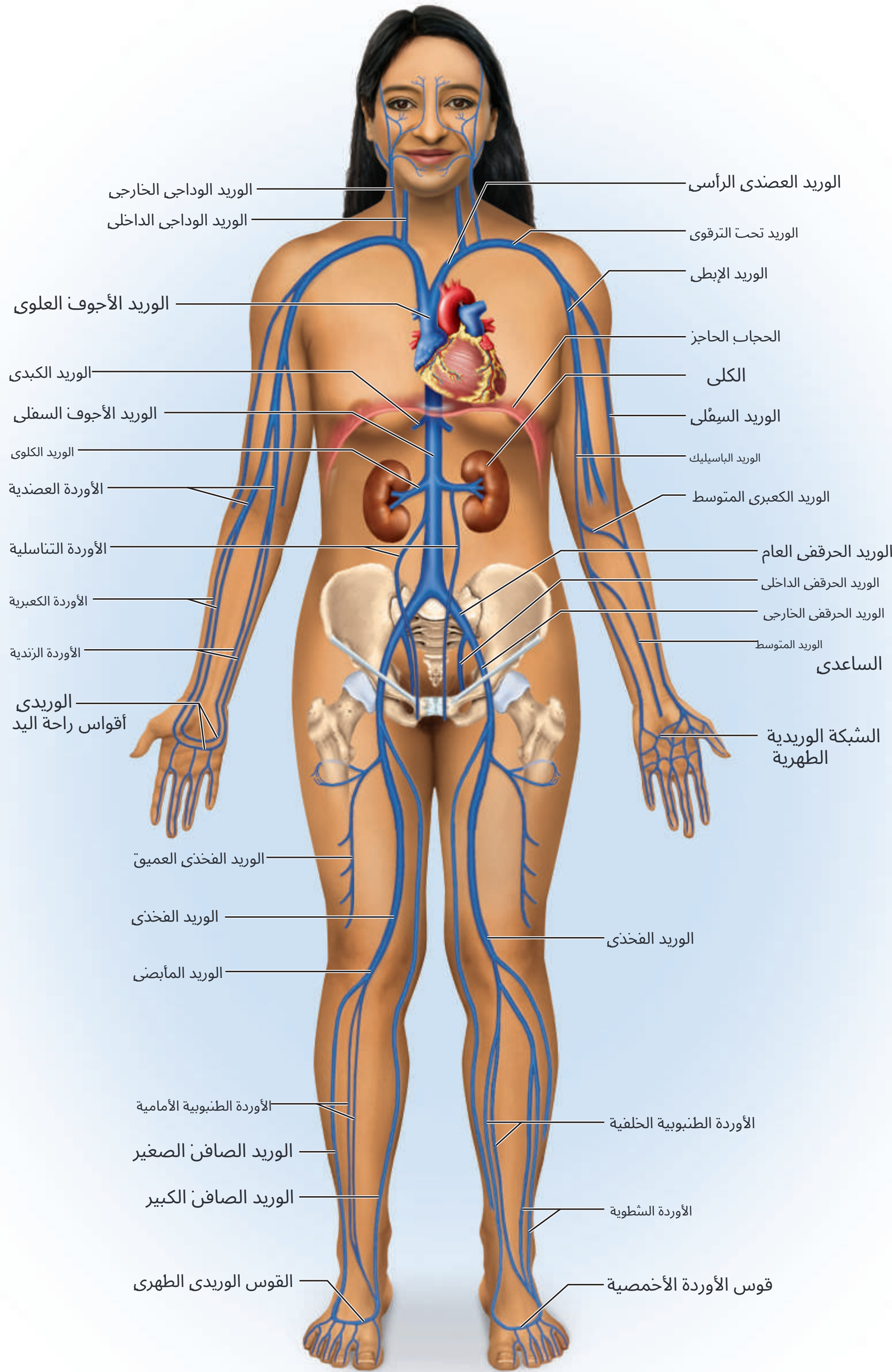
أ. تحديد الشرايين والأوردة الجهازية الرئيسية للمنطقة المحورية؛ و

ب. تتبع تدفق الدم من القلب إلى أى عضو رئيسى فى المنطقة المحورية والعودة إلى القلب.

الدورة الجهازية)الأشكال 20.25، 20.26(تزود جميع الأعضاء بالأكسجين والمواد المغذية وتزيل نفاياتها الأيضية. الدورة التاجية، التى تم وصفها سابقًا، هى جزء من هذا. يستعرض هذا القسم الشرايين والأوردة المتبقية فى المنطقة المحورية—الرأس، الرقبة، والجذع. الأقسام التالية، من 20.7a إلى 20.7g، تتبع تدفق الشرايين والعودة الوريدية، منطقة بمنطقة.



الشكل 20.25 الشرايين الجهازية الرئيسية. تم توضيح شرايين مختلفة على اليسار مقارنة باليمين للوضوح، لكن تقريبًا جميع الشرايين المعروضة موجودة على كلا الجانبين.



الشكل 20.26 الأوردة الجهازية الرئيسية. تم توضيح أوردة مختلفة على اليسار مقارنة باليمين للوضوح، لكن تقريبًا جميع تلك الموضحة توجد على كلا الجانبين.

تنشأ خلف ورقتين من صمّام الأورطى. وهى مصدر الدورة التاج ية)انظر القسم 19.2هـ(.

2. ينحنى قوس الأورطى إلى اليسار مثل حرف U مقلوب فوق ا لقلب. ويعطى ثلاثة شرايين رئيسية بهذا الترتيب: الجذع ا لذراعى الرأسى[10] (BRAY-kee-oh-seh-FAL-ic)، الشريان ا لسباتى المشترك الأيسر)cah-ROT-id(، والشريان تح ت الترقوة الأيسر[11])sub-CLAY-vee-un(. يتم تتبعها بشكل أوسع فى الأقسام 20.7ب و20.8أ.

٣. الشريان الأبهر النازل يمر نزولاً خلف القلب، فى البداية إلى يسار العمود الفقرى ثم أمامه، عبر التجويف الصدرى والبط نى.

يسمى الشريان الأبهر الصدرى فوق الحجاب الحاجز والشريان ا لأبهر البطنى تحته. وينتهى فى التجويف البطنى السفلى بال تفرع إلى الشرايين الحرقفية المشتركة اليمنى واليسرى.

20.7ب شرايين الرأس والرقبة

جميع إمدادات الدم إلى الرأس والرقبة والأطراف العلوية تأتى من قو س الأبهر عبر الشرايين التالية.

أصول شرايين الرأس والرقبة

يتلقى الرأس والرقبة)بما فى ذلك الدماغ(الدم من أربعة أزواج من ال شرايين)الشكل 20.28(:

1. الشرايين السباتية المشتركة، وهى على الأرجح أشهر الطرق إلى ا لرأس، تصعد فى المنطقة الأمامية الجانبية للرقبة بجانب الق صبة الهوائية. بعد وقت قصير من مغادرتها قوس الأبهر، ينق سم الجذع العضدى الرأسى إلى الشريان السباتى المشترك ا لأيمن إلى الرأس والشريان تحت الترقوة الأيمن المتجه إلى ال ذراع اليمنى)يتم تتبعه أكثر فى القسم 20.7د(. ينشأ الشريان ال سباتى المشترك الأيسر بشكل مستقل من قوس الأبهر قليلاً بعد الجذع العضدى الرأسى.

2. الشرايين الفقرية تنشأ من الشرايين تحت الترقوة اليمنى والي سرى، تمر صعوداً عبر الرقبة من خلال الثقوب العرضية للفقرات من C1 إلى C6، وتدخل التجويف القحفى عبر الثقبة العظمى.

3. الجذوع الدرقية الرقبية هى شرايين صغيرة تنشأ من الشرايين تح ت الترقوة بجانب الشرايين الفقرية. تزود الغدة الدرقية وبعض عضلات الكتف بالدم.

4. الجذوع الضلعية الرقبية تنشأ من الشرايين تحت الترقوة أبعد قل يلاً جانبياً. تزود عضلات الرقبة العميقة وبعض عضلات الضلو ع العلوية بالدم.

استمرار الشرايين السباتية المشتركة

الشرايين السباتية المشتركة لها التوزيع الأكثر اتساعًا من بين جميع شرايين الرأس والرقبة. بالقرب من زاوية الفك السفلى، يتفرع كل شر يان سباتى مشترك إلى شريان سباتى خارجى وشريان سباتى داخلى، مع فروع إضافية كما يلى:

[10] *براشيو* = الذراع؛ *سيفال* = الرأس

[11] *ساب* = تحت؛ *كلافى* = الترقوة، عظمة الترقوة

[12] *ثيرو* = الغدة الدرقية؛ *سيرف* = الرقبة

[13] *كوستو* = الضلع؛ *سيرف* = الرقبة

توضح فقط أكثر مسارات الدورة الدموية شيوعًا؛ هناك تفاوت كبير فى التشريح فى الجهاز الدورى من شخص لآخر.

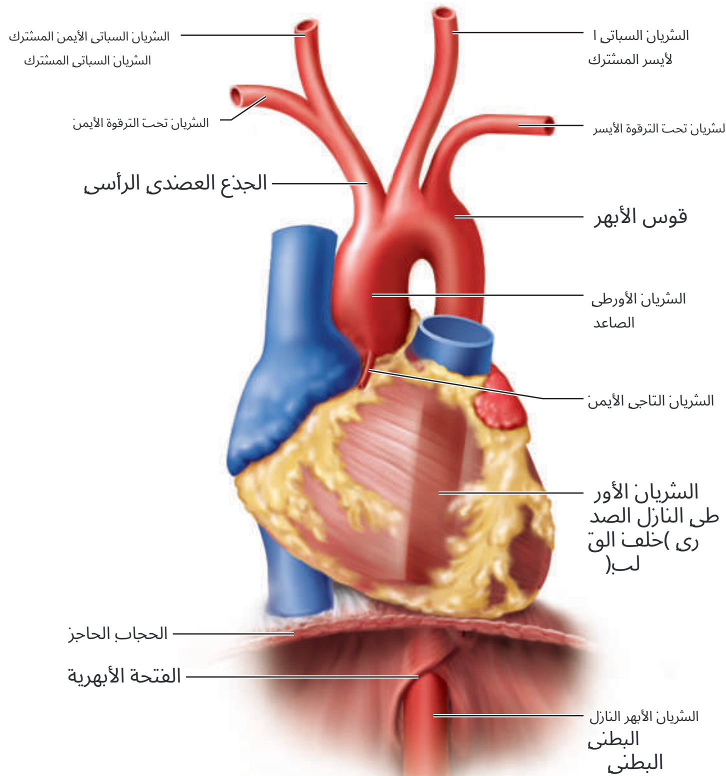
غالبًا ما تصف أسماء الأوعية الدموية مواقعها من خلال الإشارة إ لى المنطقة الجسدية التى تمر بها)كما فى الشريان الإبطى والأوردة ا لعضدية(، أو العظم المجاور)كما فى الشريان الصدغى والوريد الزندى(، أو العضو الذى يزوده أو يصرفه الوعاء)كما فى الشريان الكبدى والور يد الكلوى(. فى كثير من الحالات، يكون للشريان والوريد المجاور أسما ء متشابهة)الشريان الفخذى والوريد الفخذى، على سبيل المثال(.

أثناء تتبع تدفق الدم فى هذه الأقسام، من المهم الرجوع بشكل م تكرر إلى الرسوم التوضيحية. الوصف اللفظى وحده قد يبدو غامضًا إذا لم تستفد بالكامل من الرسوم التوضيحية الشارحة. فى جميع الأشكا ل المتبقية، تعنى الاختصارات *a.* و *aa.* الشريان و الشرايين و *v.* و *vv.* الوريد و الأوردة.

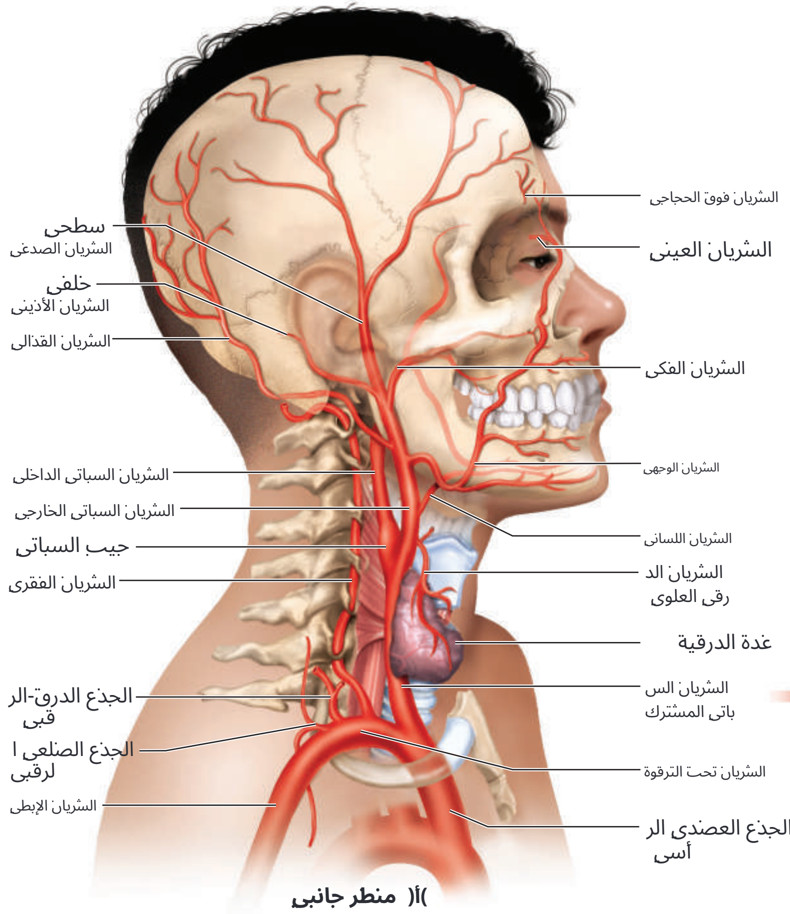
20.7أ الشريان الأورطى وفروعه الرئيسية

تنشأ جميع الشرايين الجهازية من الشريان الأورطى، الذى يحتوى على ثلاث مناطق رئيسية، غالبًا ما يُقارن بشكل لـ مقبض المطلة **)الشكل 20.27(.**

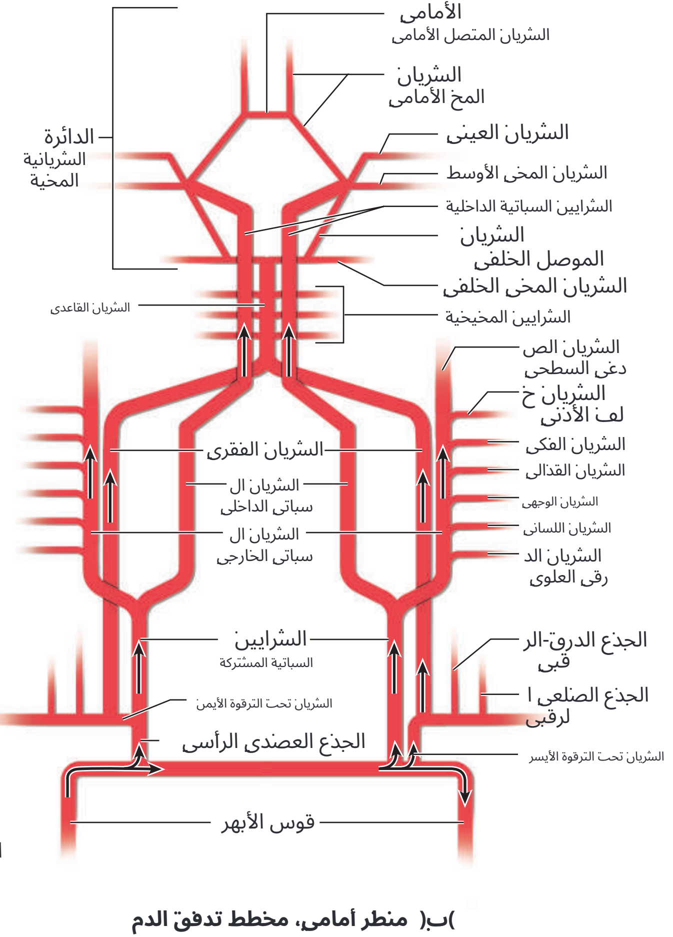
1. يرتفع الشريان الأورطى الصاعد حوالى 5 سم فوق البطين ا لأيسر. فروعه الوحيدة هى الشرايين التاجية، التى



A&PR الشكل 20.27 الشريان الأبهر الصدرى.)ى = اليسار؛ ى = اليمين(



)أ(منظر جانبى



)ب(منظر أمامى، مخطط تدفق الدم

الشكل 20.28 الشرايين السطحية)خارج الجمجمة(للرأس والرقبة.)أ(منظر جانبى.)ب(مخطط تدفق الدم، منظر أمامى. الجزء العلوى من المخطط يصور الدورة الدموية الدماغية فى الشكل 20.29. APR

ادكر الشرايين، بالترتيب، التى يجب أن يمر بها كريات الدم الحمراء من البطين الأيسر إلى جلد الجانب الأيسر من الجبهة.

وحوالى 80% من المخ. لذلك، يمكن أن يؤدى ضغط الشرايين السباتية الداخلية بالقرب من الفك السفلى إلى فقدان الوعى) ولكن هذا خطير ولا يجب القيام به للترفيه، كما يفعل بعض الأشخاص(. الفروع الرئيسية للشريان السباتى الداخلى)الشكل 20.29(هى

أ. الشريان العينى، الذى يخرج من التجويف القحفى عبر القناة البصرية ويزود الدم إلى المدار، الأنف، والجبهة؛

ب. الشريان الدماغى الأوسط الكبير، الذى يقع فى الأخدود الجانبى للمخ، يزود الجزيرة الدائرية بالدم، ثم يصدر فروعًا عديدة إلى المنطقة الجانبية من الفص الجبهى، الصدغى، والجدارية فى الدماغ؛ و

ج. الشريان الدماغى الأمامى الأصغر، الذى يمر أماميًا، ثم يعود وينحنى خلفيًا فوق الجسم الثفنى حتى الحد الخلفى للفص الجدارى؛ ويعطى فروعًا واسعة للفص الجبهى والفص الجدارى.

1. الشريان السباتى الخارجى يصعد على جانب الرأس خارج الجمجمة ويزود معظم الهياكل خارج الجمجمة باستثناء الحجاج. وينشأ منه الشرايين التالية بترتيب تصاعدى:

أ. الشريان الدرقى العلوى إلى الغدة الدرقية والحنجرة؛

ب. الشريان اللسانى إلى اللسان؛

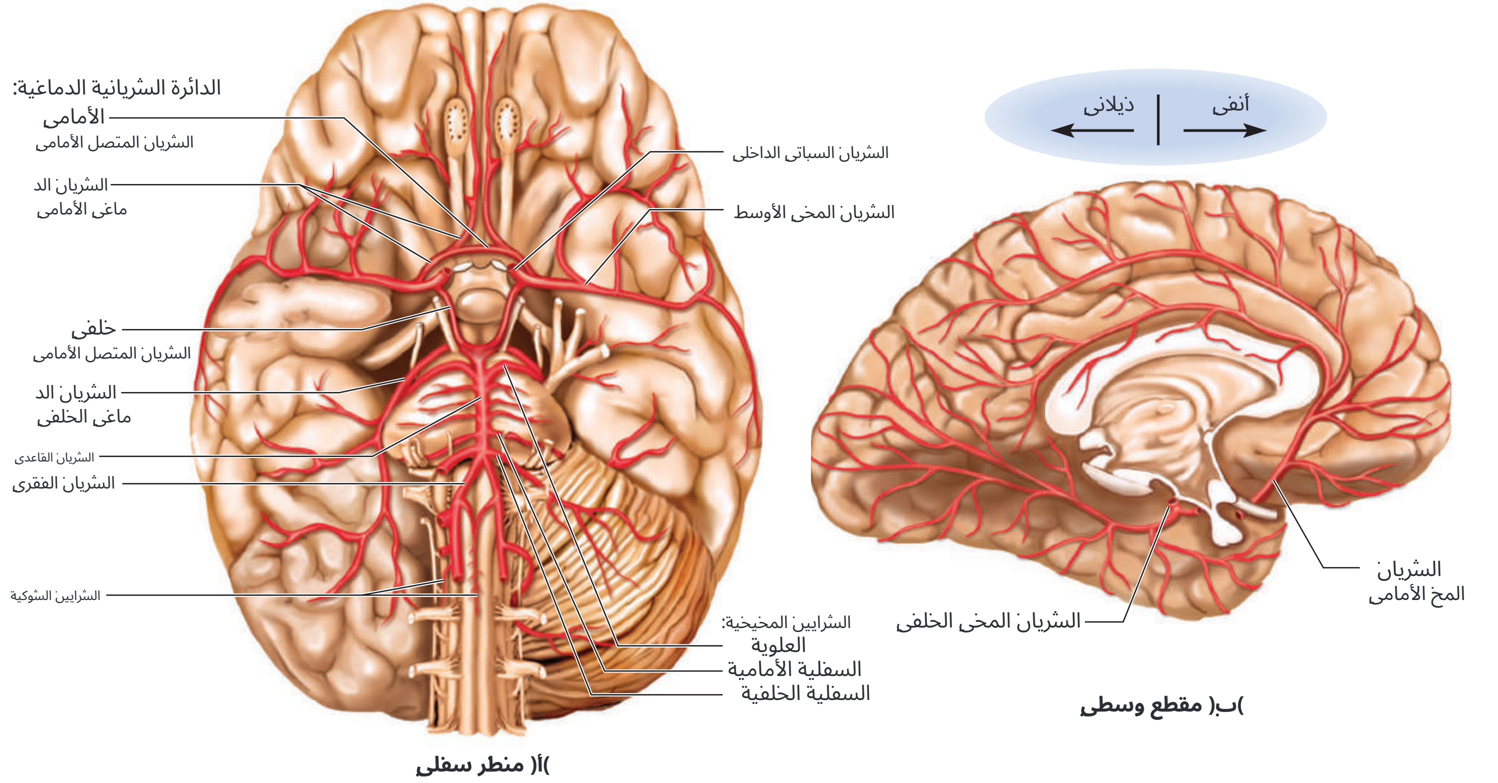
ج. الشريان الوجهى إلى جلد وعضلات الوجه؛

د. الشريان القذالى إلى فروة الرأس الخلفية؛

هـ. الشريان الفكى العلوى إلى الأسنان، والفك العلوى، وتجويف الفم، والأذن الخارجية؛ و

و. الشريان الصدغى السطحى إلى عضلات المضغ، تجويف الأنف، الجانب الجانبى للوجه، معظم فروة الرأس، وغشاء الأم الجافية.

2. يمر الشريان السباتى الداخلى إلى الداخل من زاوية الفك السفلى ويمر عبر قناة السباتى فى عظم الصدغ إلى التجويف القحفى. يزود الحجاج



الشكل ٩٢.٠٢ إمداد الدماغ بالدم.)أ(منظر سفلى للدماغ يظهر إمداد الدم إلى جذع الدماغ، والمخيخ، والدائرة الشريانية الدماغية.)ب(مقطع وسطى للدماغ ى طهر الفروع البعيدة أكثر للشرايين الدماغية الأمامية والخلفية.
تتوزع فروع الشريان الدماغى الأوسط على السطح الجانبى للمخ)غير موضح(.
APR

الشرايين السباتية الداخلية؛ الشرايين الدماغية الأمامية والوسطى وال خلفية؛ والتشابكات التالية التى تكمل الحلقة:

1. شريان تواصل أمامى واحد يربط وسطيًا بين الشريانين الدماغ يين الأماميين الأيمن والأيسر؛ و
2. شريان تواصل خلفى نحيف، أيمن وأيسر، يربط بين الشريان السباتى الداخلى والشرايين الدماغية الخلفية.

حوالى ٠٢٪ فقط من الأشخاص لديهم دائرة شريانية دماغية كامل ة. عادةً ما يكون أحد المكونات أو أكثر مفقودًا أو ضيقًا جدًا بحيث لا يو فر تدفق دمويًا ذا أهمية. إن معرفة توزيع الشرايين الناشئة من الدائرة الشريانية الدماغية أمر بالغ الأهمية لفهم تأثيرات الجلطات الدموية، و تمدد الأوعية الدموية، والسكتات الدماغية على وظيفة الدماغ. تحدث تمددات الأوعية الدموية الدماغية فى الغالب فى هذا التجمع المعقد من الشرايين أو فى الشريان القاعدى القريب من الدائرة.

٧.٠٢ح أوردة الرأس والرقبة

يتم تصريف الرأس والرقبة بشكل رئيسى بواسطة ثلاثة أزواج من الأوردة — الأوردة الوداجية الداخلية والأوردة الوداجية الخارجية والأوردة الفقر ية. سنتتبع هذه من منشأها إلى الأوردة تحت الترقوة.

الجيوب الوريدية الجافية

بعد أن يدور الدم عبر الدماغ، يتجمع فى أوردة كبيرة رقيقة الجدران مع دلة تسمى الجيوب الوريدية الجافية — وهى فراغات مملوءة بالدم بى ن طبقات الأم الجافية)الشكل ٠٣.٠٢(.

استمرار الشرايين الفقرية

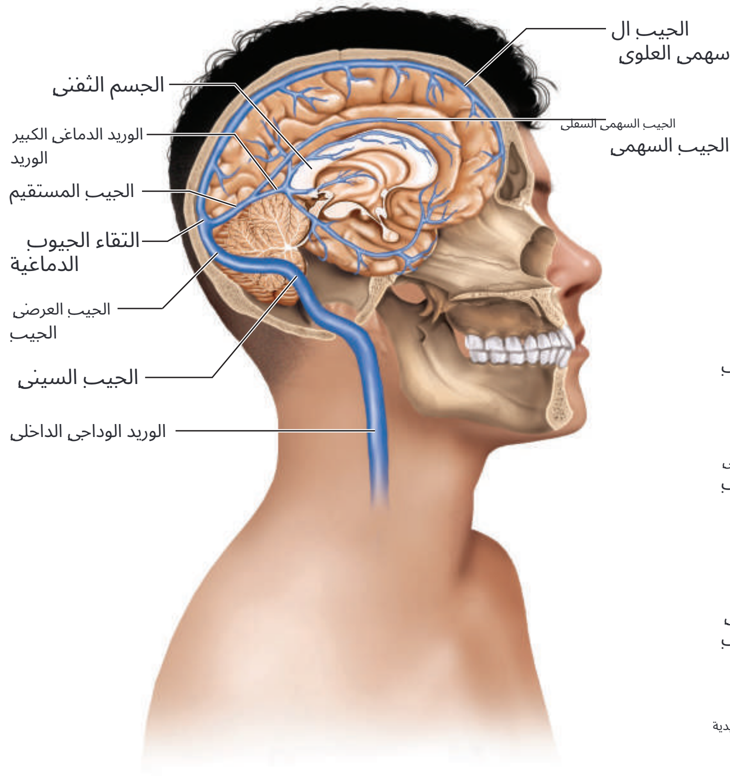
تعطى الشرايين الفقرية فروعًا صغيرة تغذى الحبل الشوكى وسحائبه، والفقرات العنقية، وعضلات الرقبة العميقة. ثم تدخل بعد ذلك إلى ال ثقبة العظمى، وتغذى عظام الجمجمة وسحائبه، وتستمر كما يلى:

1. تتقارب لتشكل شريانًا أساسيًا متوسطًا واحدًا عند التقاء ال نخاع المستطيل والجسر. يمتد الشريان الأساسى على الجانب الأمامى للجسر ويعطى فروعًا إلى المخيخ والجسر والأذن الداخلي ة. عند أو بالقرب من حدود الجسر والدماغ المتوسط، ينقسم إلى الشرايين التالية.
2. ينشأ من الشريان الأساسى الشريانان المخيان الخلفيان الأيم ن والأيسر، ويمتدان إلى الجزء الخلفى من الدماغ، ويخدمان الم ناطق السفلية والوسطى من الفصوص الصدغية والقذالية، و الدماغ المتوسط، والمهاد.

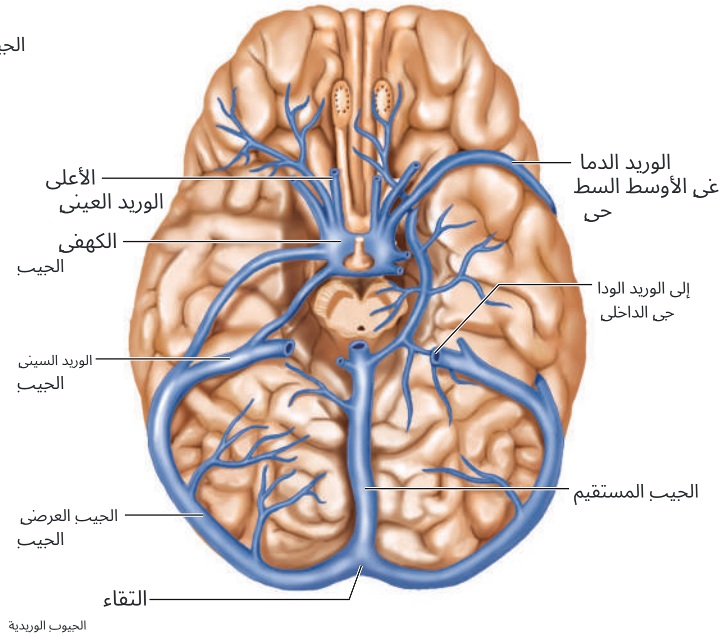
دائرة الشرايين الدماغية

فى الشكل 20.29أ والجزء العلوى من 20.28ب، يمكنك رؤية أن عددًا من هذه الشرايين يشكل حلقة تحيط بالغدة النخامية والتقاطع البصر ى. تُسمى هذه بـ دائرة الشرايين الدماغية)دائرة ويليس[14](. تشمل م كوناتها الشريان الأساسى؛

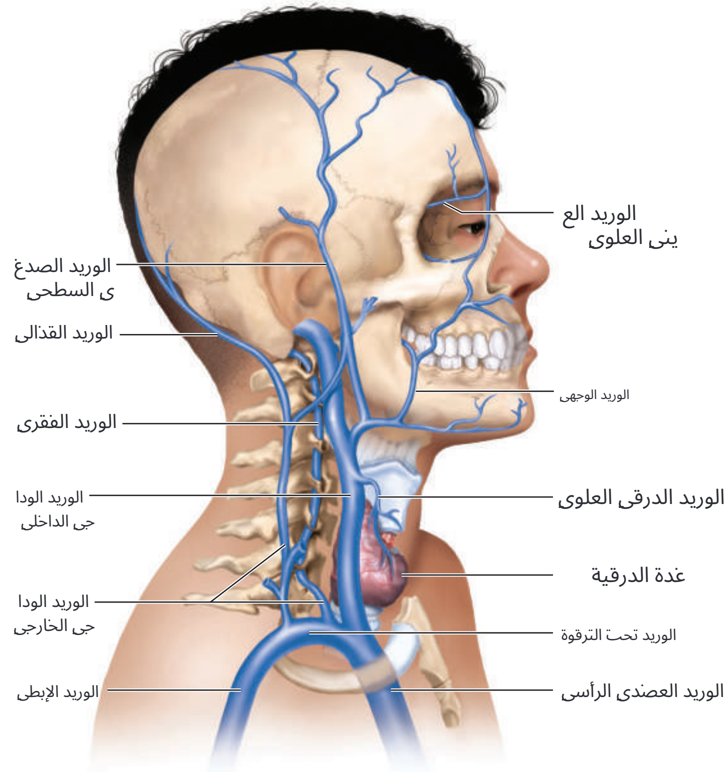
[14] توماس ويليس)1621–1675(، عالم التشريح الإنجليزى



)أ(الجيوب الوريدية الجافية، منظر وسطى



)ب(الجيوب الوريدية الجافية، منظر سفلى



)ح(الأوردة السطحية للرأس والرقبة

الشكل 20.30 أوردة الرأس والرقبة.)أ(تجا ويف الأوردة الجافية المرئية فى مقطع و سطى للمخ.)ب(تجاويف الأوردة الح افية المرئية من منظور سفلى للمخ.

)ح(الأوردة السطحية)خارج الجمجمة(APR لرأس والرقبة.

قد يكون من المفيد تذكّر تركيب الأم الجافية لفهم هذه التجاويف. هذ
ه الغشاء الصلب بين الدماغ وعظام الجمجمة يحتوى على *طبقة بريو
ستية* مقابل العظم و*طبقة سحائية* مقابل الدماغ. فى بعض الأماكن،
يوجد فراغ بين هاتين الطبقتين لاستيعاب تجويف يجمع الدم.

بين نصفى الكرة المخية يوجد جدار عمودى على شكل منجل من الأم ا
لجافية يُسمى *المنجل المخى*، والذي يحتوي على اثنين من التجاويف.
هناك حوالى 13 تجويفًا وريديًا جافيًا إجمالاً؛ نعرض هنا فقط القليل م
ن الأكثر بروزًا.

1. التجويف الجوفى العلوى موجود فى الحافة العلوية للمنجل
المخى ويغطى الشق الطولى للمخ)الشكل 20.30أ؛ انظر أ
يضًا الأشكال 14.5، 14.7(.
يبدأ من الأمام بالقرب من نتوء القفص للجمجمة ويمتد إل
ى الخلف حتى مستوى النتوء القذالى الخلفى. هنا ينحنى، ع
ادةً إلى اليمين، ويصرف الدم إلى *تجويف عرضى*.

2. الجيب السهمى السفلى موجود فى الحافة السفلية للثنية المخ
ية ويقوس فوق الجسم الثفنى، عميقًا فى الشق المخى الطولى
. فى الخلف، ينضم إلى *الوريد المخى الكبير* ويشكل اتحادهما ا
لجيب المستقيم، الذى يستمر إلى مؤخرة الرأس. هناك، يلت
قى الجيب السهمى العلوى والجيب المستقيم فى مساحة
تسمى *ملتقى الجيوب*.

3. تؤدى الجيوب العرضية اليمنى واليسرى (transverse sinuses)
بعيدًا عن نقطة الالتقاء وتحيط بالجزء الداخلى من عظم القذالى،
متجهة نحو الأذنين)الشكل 20.30ب(؛ ويُشار إلى مسارها بواس
طة أخاديد على السطح الداخلى لعظم القذالى)انظر الشكل 8.
5ب(. تستقبل الجيب العرضى الأيمن الدم بشكل رئيسى من الجي
ب السهمى العلوى، بينما يصرف الجيب الأيسر الدم بشكل ر
ئيسى من الجيب المستقيم. جانبيًا، يشكل كل جيب عرضى ان
حناءً على شكل S يُسمى الجيب السينى)sigmoid sinus(، ثم
يخرج من القحف عبر الثقبة الوداجية. من هنا، يتدفق الدم إلى
الوريد الوداجى الداخلى للرقبة.

4. الجيوب الكهفية)cavernous sinuses(هى خلايا شبيهة
بالخلايا النحلية مملوءة بالدم على كل جانب من جسم ع
ظم الوتدى)الشكل 20.30ب(. تستقبل الدم من الوريد العينى ا
لعلوى للمدار و الوريد الدماغى الأوسط السطحى للدماغ، من بين
مصادر أخرى. تصرف الدم عبر عدة منافذ تشمل الجيب العر
ضى، الوريد الوداجى الداخلى، والوريد الوجهى. وهى مهمة سر
يريًا لأن العدوى يمكن أن تنتقل من الوجه ومواقع سطحية أخر
ى إلى تجويف القحف عبر هذا المسار. كما أن التهاب الجيب ا
لكهفى يمكن أن يضر بالهياكل المهمة التى تمر من خلاله، بما
فى ذلك الشريان السباتى الداخلى والأعصاب القحفية من ال
ثالث إلى السادس.

الأوردة الرئيسية فى الرقبة

يتدفق الدم عبر الرقبة بشكل رئيسى عبر ثلاث أوردة على كل جانب،
جميعها تصب فى الوريد تحت الترقوة)الشكل 20.30ح(.

1. الوريد الوداجى الداخلى (internal jugular) يمر عبر الرقبة[15]
عميقًا تحت عضلة القصية الترقوية الخشائية. يستقبل
معظم الدم من الدماغ؛ يجمع الدم من
الوريد الوجهى، الوريد الصدغى السطحى، و الوريد الدرقى
العلوى على طول الطريق؛ يمر خلف الترقوة؛ وينضم إلى الور
يد تحت الترقوى)الذى يتم تتبعه أكثر فى القسم 20.7e(.

2. الوريد الوداجى الخارجى يمر على جانب الرقبة فوق عضلة ا
لقصية الترقوية الخشائية ويصب فى الوريد تحت الترقوى
. يصرف فروعاً من

[15] *الوداجى* = الرقبة، الحلق

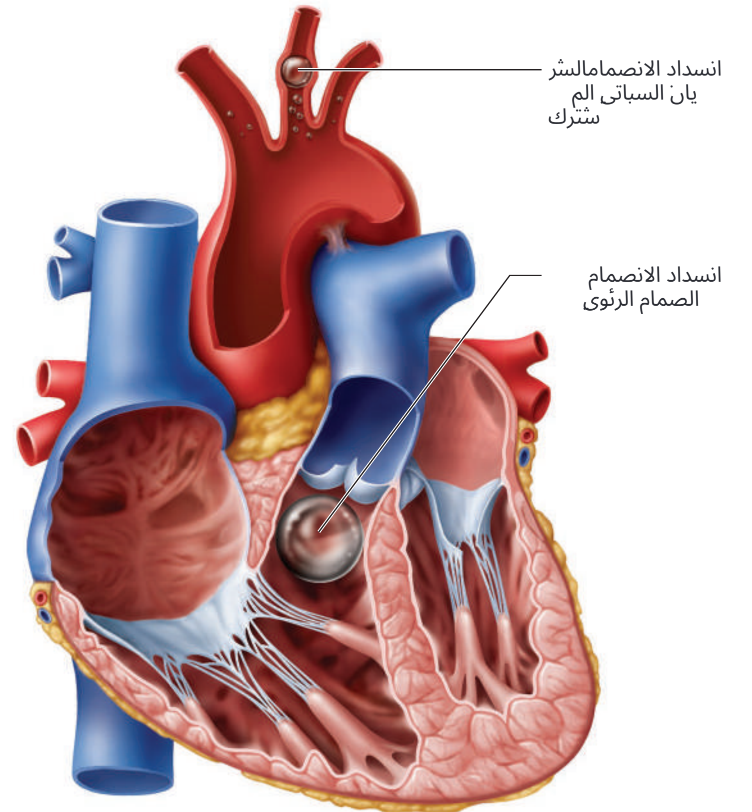
نظرة أعمق 20.3



تطبيق سريرى

الانسداد الهوائى

الإصابة فى الجيوب الجافية أو الأوردة الوداجية تشكل خطراً أقل من فقدان الدم م
قارنةً بخطر دخول الهواء إلى الجهاز الدورى. وجود الهواء فى مجرى الدم يُسمى الا
نصمام الهوائى)الشكل 20.31(. هذا الأمر يشكل قلقاً هاماً لجراحى الأعصاب، ال
ذين أحياناً يجرون العمليات مع وجود المريض فى وضعية الجلوس. إذا تم ثقب ح
يب جافى، يمكن أن يُشفط الهواء إلى الجيب ويتجمع فى حجرات القلب، مما يع
يق خرج القلب ويسبب وفاة مفاجئة. فقاعات الهواء الصغيرة فى الدورة الدموية ا
لجهازية يمكن أن تقطع تدفق الدم إلى الدماغ والرئتين وعضلة القلب وأنسجة حيو
ية أخرى. كمية صغيرة تصل إلى 0.5 مل من الهواء فى شريان تاجى يمكن أن تس
بب توقف القلب.



الشكل 20.31 الانسداد الهوائى.

العضلات، وكذلك الفقرات، الحبل الشوكى، السحايا، الثديين، الجلد، والأنسجة تحت الجلدية.

2. ينشأ زوج واحد من الشرايين تحت الضلعية من الأبهر أسفل الضلع 12. تقوم بتغذية الأنسجة بين الضلوع الخلفية، الفقرات ، الحبل الشوكى، والعضلات العميقة للظهر.

3. عدد متغير من الشرايين الحجابية العلوية[16] (FREN-ic) (غير مو ضحة) تنشأ عند فتحة الأبهر وتغذى المناطق العلوية والخلفية لل حجاب الحاجز.

طبق ما تعرفه

الشرايين بين الضلوع الخلفية أكبر فى الإناث المرضعات مقارنة بالذكور والإناث غير المرضعات.

اشرح السبب.

فروع الشرايين تحت الترقوية و الشرايين الإبطية

يتم أيضًا تغذية جدار الصدر بفروع من الشرايين تحت الترقوية واستم اريتها، وهى الشرايين الإبطية فى منطقتى الكتف والإبط. تذكر أن ال شريان تحت الترقوية الأيمن ينشأ من الجذع العضدى الرأسى، والشر يان تحت الترقوية الأيسر ينشأ مباشرة من قوس الأبهر (انظر الشكل 20.27). على كل من اليمين واليسار، يعطى الشريان تحت الترقوية ا لشريان الصدرى الداخلى، ثم يستمر كشريان إبطى. التقسيمات الإضا فية لهذه الشرايين هى كما يلى:

1. الشريان الصدرى الداخلى (الثديى) يغذى الثدى وجدار ال صدر الأمامى. يصدر الفروع التالية:

أ. الشريان التامورى الحاجزى يغذى التامور والحجاب الحاجز.

ب. الشرايين بين الضلوع الأمامية تنشأ من الشريان الصدرى ا لداخلى أثناء نزوله بجانب القص. تمر بين الأضلاع؛ تغذى الأ ضلاع والعضلات بين الضلوع والعضلات الصدرية، والثدى، والجلد؛ وأخيرًا تتصل تشريحيًا مع الشرايين بين الضلوع الخ لفية. يرسل كل منها فرعًا على طول الحافة السفلية للضلع أع لاه وفرعًا موازٍ على طول الحافة العلوية للضلع أدناه.

2. الجذع الصدرى الأخرمى[17] (THOR-uh-co-uh-CRO-me-ul) ى وفر فروعًا للكتف العلوى ومناطق الصدرية.

3. الشريان الصدرى الجانبى يزود عضلات الصدر، والعضلة المن شارية الأمامية، وعضلة تحت الكتف. كما يصدر فروعًا إلى الثد ى ويكون أكبر عند الإناث مقارنة بالذكور.

4. الشريان تحت الكتف هو أكبر فرع من الشريان الإبطى. يزود عظم ا لكتف وعضلة الظهر العريضة، والعضلة المنشارية الأمامية، والعضلة المدورة الكبرى، والعضلة الدالية، وعضلة الترايسبس العضدية، وع ضلات بين الأضلاع.

[16] *phren* = الحجاب الحاجز

[17] *thoraco* = الصدر؛ *acr* = الطرف، القمة؛ *om* = الكتف

غدة النكفية اللعابية، عضلات الوجه، فروة الرأس، وهياكل س طحية أخرى. بعض هذا الدم يتبع أيضاً التشابكات الوريد ية إلى الوريد الوداجى الداخلى.

3. الوريد الفقرى يمر مع الشريان الفقرى عبر الثقوب العرضية لل فقرات العنقية. على الرغم من أن الشريان المرافق يؤدى إلى ا لدماغ، فإن الوريد الفقرى لا يأتى من هناك. يصرف الفقرات ا لعنقية، الحبل الشوكى، وبعض العضلات العميقة الصغيرة فى الرقبة، ويصب فى الوريد تحت الترقوى.

القسم 20.7e يتتبع تدفق الدم هذا حتى الوريد الأجوف العلوى والقل ب.

20.7د شرايين الصدر

يتم تزويد الصدر بعدة شرايين تنشأ مباشرة من الشريان الأورطى الناز ل ومن الشرايين تحت الترقوية والإبطية. يبدأ الشريان الأورطى الصدر ى بعد قوس الأورطى وينتهى عند فتحة الأورطى (hy-AY-tus)، وهى ممر عبر الحجاب الحاجز. على طول الطريق، يرسل العديد من الفروع ا لصغيرة إلى الأحشاء الصدرية وجدار الجسم (الشكل 20.32).

الفروع الحشوية للشريان الأورطى الصدرى

تشمل الفروع الحشوية للشريان الأورطى الصدرى ما يلى، إلى جانب شرايين صغيرة أخرى غير موضحة:

1. تختلف الشرايين القصبية فى العدد والترتيب؛ عادةً ما يكون هنا ك اثنان على اليسار وواحد على اليمين.
عادةً ما تنشأ الشريان القصبى الأيمن من أحد الشرايين الق صبية اليسرى أو من شريان بين الأضلاع الخلفى. تزود الشرايين القصبية الجنبة الحشوية، التامور، والمرىء، وتدخل إلى الرئتين لتزويد الشعب الهوائية، القصيبات، والأوعية الدموية الرئوية ا لأكبر.

2. الشرايين المريئية هى أربع أو خمس شرايين غير مزدوجة تن شأ من السطح الأمامى للأورطى وتزود المرىء بالدم.

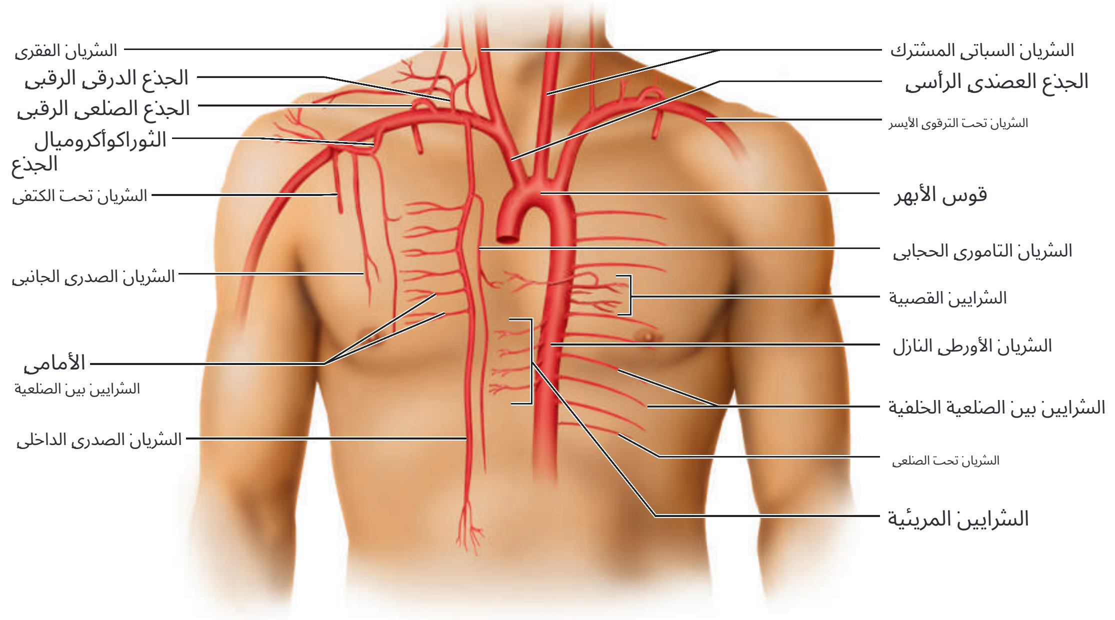
طبق ما تعرفه

كل من الشرايين الرئوية والشرايين القصبية تزود الدم إلى الرئتين ، ولكن عندما يخرج هذا الدم من الرئتين، يكون الدم الرئوى أغنى بالأكسجين والدم القصبى أفقر بالأكسجين. اشرح السبب.

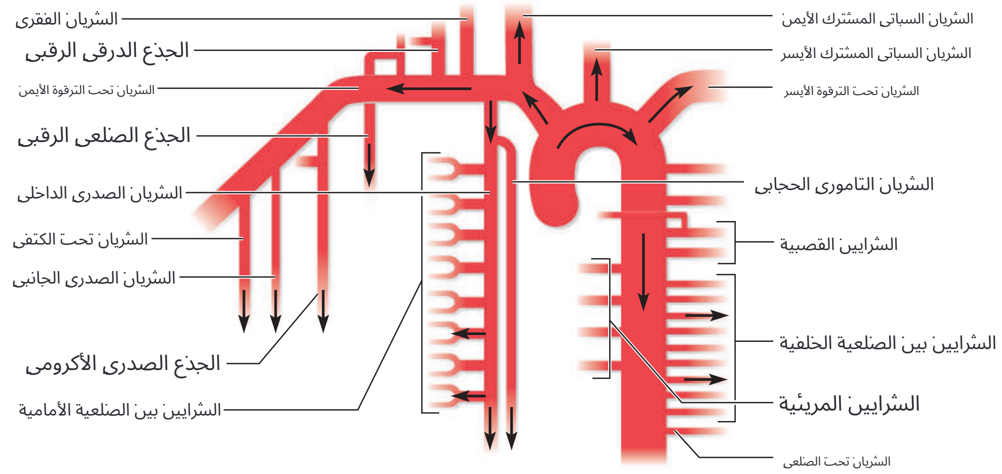
الفروع الجدارية للشريان الأورطى الصدرى

تزود الفروع التالية بشكل رئيسى عضلات وعظام وجلد الصدر.

1. الشرايين بين الأضلاع الخلفية هى تسعة أزواج من الأوعية التى تنشأ من الجانب الخلفى للأورطى. تجرى حول الجانب الخل فى لقفص الأضلاع بين الضلوع 3 إلى 12، ثم تتصل بالشرا يين بين الأضلاع الأمامية الموضحة فى القسم التالى. تزود ا لعضلات بين الأضلاع، العضلة الصدرية، العضلة المنشارية الأما مية، وبعض عضلات البطن.



)أ(الشرايين الرئيسية



)ب(مخطط تدفق الدم

APR الشكل 20.32 شرايين الصدر.)أ(الشرايين الصدرية الرئيسية.)ب(مخطط تدفق الدم فى الشرايين الصدرية.

1. الوريد تحت الترقوة يصرف الدم من الطرف العلوى)انظر "الأوردة العميقة"فى القسم 20.8ب(. يبدأ عند الحافة الجانبية للضلع الأول ويمر خلف الترقوة.يستقبل الوريد الوداجى الخارجى والوريد الفقرى، ثم ينتهى)يتغير اسمه(عند استقباله الوريد الوداجى الداخلى.

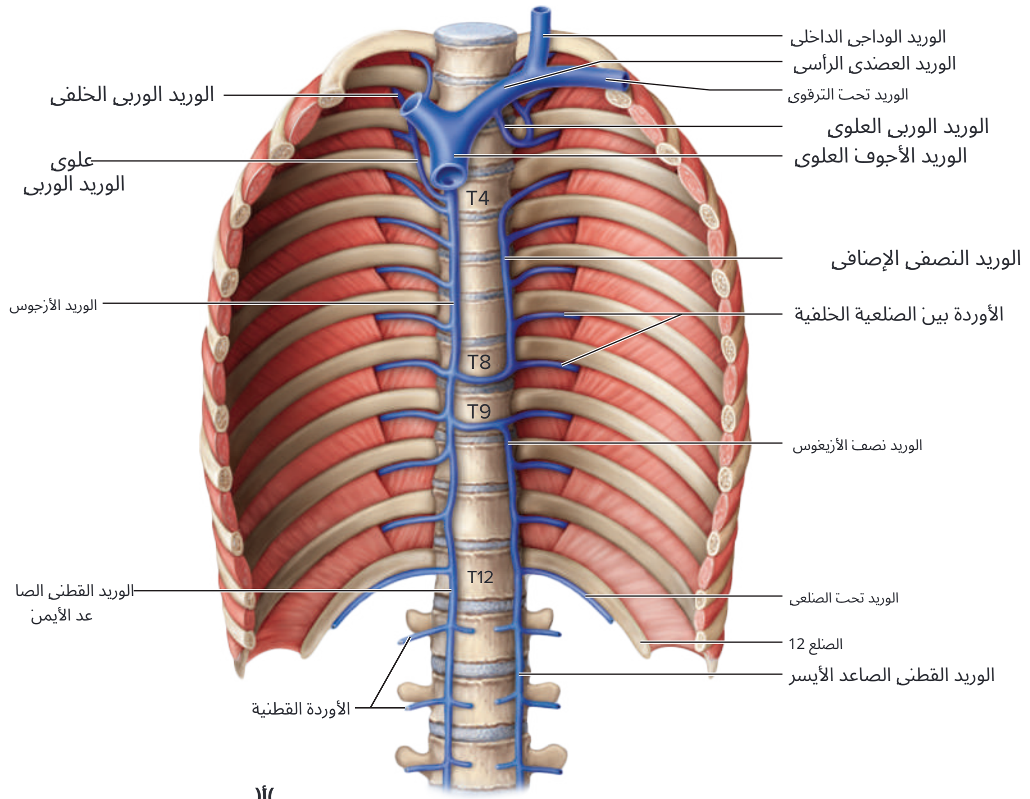
2. الوريد العضدى الرأسى يتكون من اتحاد الوريد تحت الترقوة والوريد الوداجى الداخلى.طول الوريد العضدى الرأسى الأيمن حوالى 2.5 سم فقط، وطول الأيسر حوالى 6 سم.

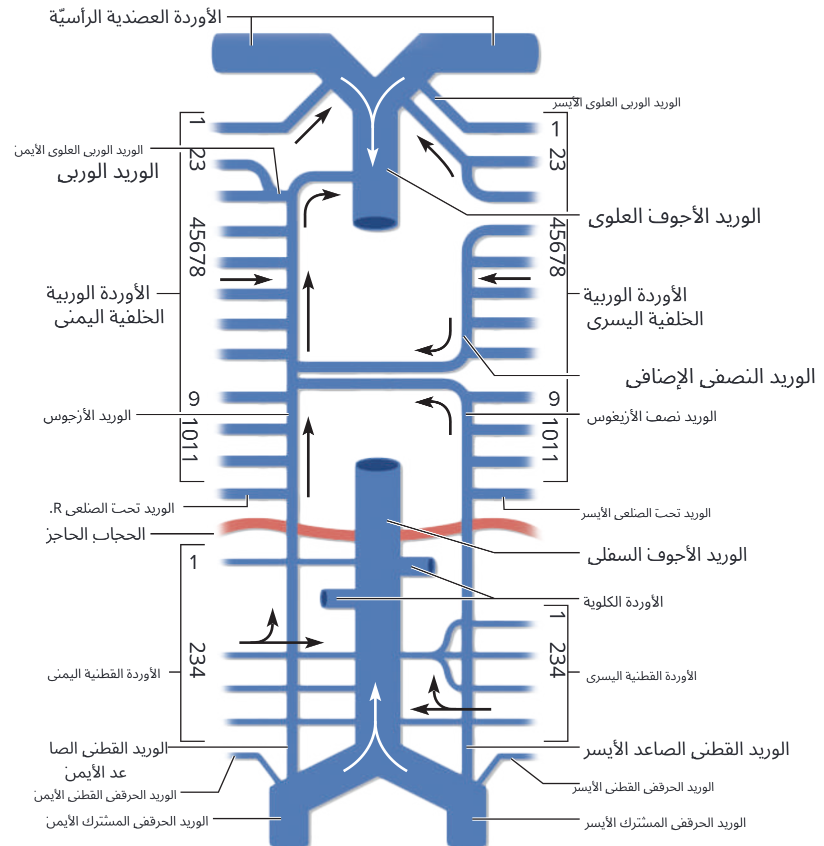
20.7e أوردة الصدر

تستقبل الوريد الأجوف العلوى كل التصريف الوريدى ليس فقط من الرأس والرقبة كما وُصف سابقًا، بل أيضًا من جميع أعضاء وأنسجة الصدر.

الروافد الوريدية للوريد الأجوف العلوى

تحمل الأوردة البارزة فى الجزء العلوى من الصدر الدم من منطقة الكتف إلى القلب)الشكل 20.33(; وهى كما يلى:





الشكل 20.33 تصريف الأوردة لجدار الصدر الخلفى و البطن.)أ(نظام الأزيغوس لجدار الصدر. يوفر هذا النظام تصريف الأوردة من الجدار والأحشاء فى الصدر، لكن الفروع الحشوية غير موضحة.
)ب(مخطط تدفق الدم فى الصرف ا لصدرى والبطنى.
تشكل المكونات فوق الحجاب الحاجز نظام ا لأزيجوس. هناك تفاوت كبير بين الأفراد فى هذا التشريح.

APR

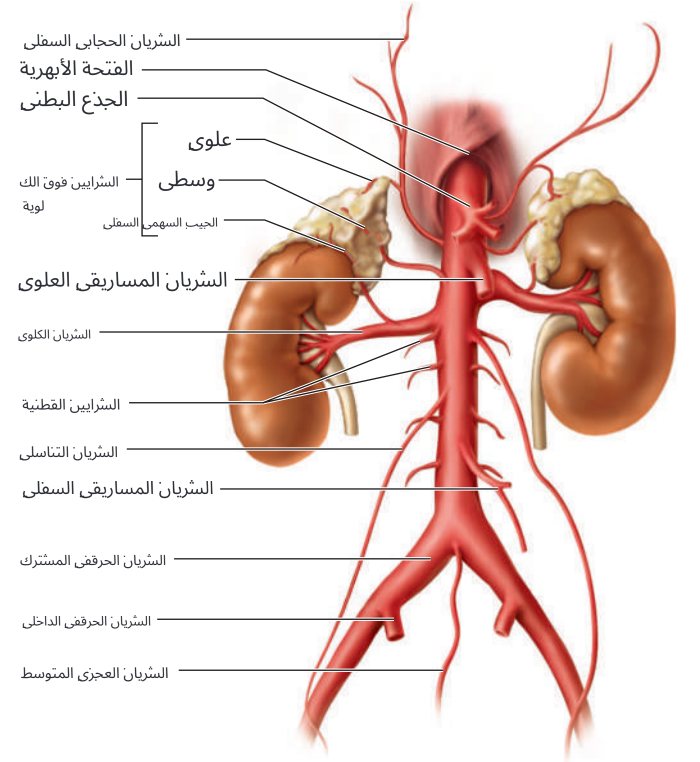
20.7f شرايين مناطق البطن وا لحوص

بعد المرور عبر فتحة الأبهر، ينزل الأبهر عبر تجويف البطن وينتهى عند مستوى الفقرة L4، حيث يتفرع إلى الشريان الحرقفى المشترك الأيم ن والأيسر. الأبهر البطنى يقع خلف الصفاق.

الفروع الرئيسية للأبهر البطنى

يصدر الأبهر البطنى الشرايين بالترتيب المذكور هنا، من الأعلى إلى الأ سفل)الشكل 20.34(. تلك المسماة بصيغة الجمع هى أزواج يمينية و يسارية، فى حين أن المسماة بصيغة المفرد هى شرايين وسطية من فردة.

1. الشرايين الحجابية السفلية تزود السطح السفلى للحجاب الحا جز. قد تنشأ من الأبهر، الجذع البطنى، أو الشريان الكلوى. يصدر كل منها شريانين أو ثلاثة شرايين فوق الكلوية الع لوية الصغيرة إلى الغدة الكظرية)فوق الكلوية(على نفس ا لجانب.
2. الجذع البطنى)سيلياك(يزود الأحشاء البطنية العلوية)انظر الق سم التالى(.
3. الشريان المساريقى العلوى يزود الأمعاء بالدم.



الشكل 20.34 الشريان الأبهر البطنى وفروعه الرئيسية. APR

تستقبل روافد من الفقرات، والغدة الدرقية، وجدار الصدر ال علوى والثدى، ثم تلتقى لتشكل الوريد التالى.

3. يشكل الوريد الأجوف العلوى)SVC(باتحاد الأوردة العضدية ا لرأسى اليمنى واليسرى. يمتد للأسفل حوالى 7 سم ويفرغ فى ا لأذين الأيمن للقلب.
   الروافد الرئيسية له هى *الوريد الأزيجوس*. يصرف جميع الهياك ل فوق الحجاب الحاجز باستثناء الدورة الرئوية والدورة التاج ية. كما يستقبل الصرف من تجويف البطن عبر نظام الأزيجو س، الموضح لاحقًا.

نظام الأزيجوس

الصرف الوريدى الرئيسى لأعضاء الصدر يتم عبر نظام الأزيجوس(AZ-ih-goss))الشكل 20.33(. الوريد الأكثر بروزًا فى هذا ال نظام هو الوريد الأزيجوس[18]، الذى يصعد على الجانب الأيمن من الجد ار الخلفى للصدر. سُمى بهذا الاسم لعدم وجود نظير له على اليسار. ي ستقبل الروافد التالية، ثم يفرغ فى الوريد الأجوف العلوى عند مستوى الفقرة T4.

1. يروى الوريد القطنى الصاعد الأيمن جدار البطن الأيمن، ثم يختر ق الحجاب الحاجز ويدخل التجويف الصدرى. يبدأ الوريد الأزيج وس حيث يلتقى الوريد القطنى الصاعد الأيمن بالوريد تحت الضلعى الأيمن تحت الضلع 12.
2. تقوم الأوردة الوربية الخلفية اليمنى بتصريف الفراغات الوربية .الأولى)العليا(تصب فى الوريد العضدى الرأسى الأيمن؛ الأور دة الوربية 2 و3 تنضم لتشكيل الوريد الوربى العلوى الأيمن قبل أن تصب فى الوريد الأزجوس؛ والأوردة الوربية من 4 إلى 11 تد خل كل منها الوريد الأزجوس بشكل منفصل.
3. الأوردة المريئية اليمنى، المنصفية، التامورية، والقصبية)غير م وضحة(تصب أعضائها المعنية فى الوريد الأزجوس.
4. يرتفع الوريد الهيميازجوس على الجدار الصدرى الخلفى على ال جانب الأيسر. يبدأ حيث ينضم الوريد القطنى الصاعد الأيسر، بعد أن اخترق الحجاب الحاجز للتو، إلى الوريد تحت الضلعى أسفل الضلع 12. ثم يستقبل الهيميازجوس الثلاثة أوردة الور بية الخلفية السفلية، والأوردة المريئية، والأوردة المنصفية. عند ا لجانب الأيسر من الفقرة T9، يعبر إلى الجانب الأيمن ويصب فى الوريد الأزجوس.
5. ينزل الوريد الهيميازجوس الإضافى على الجدار الصدرى الخ لفى على الجانب الأيسر. يستقبل تصريفًا من الأوردة الوربية الخ لفية 4 إلى 8 وأحيانًا من الأوردة القصبية اليسرى. يعبر إلى ال جانب الأيمن عند مستوى الفقرة T8 ويصب فى الوريد الأزجو س.

الأوردة الوربية الخلفية اليسرى من 1 إلى 3 هى الوحيدة على هذا الجانب التى لا تصب فى النهاية فى الوريد الأزجوس. عادةً ما يصب ا لأول مباشرة فى الوريد العضدى الرأسى الأيسر. الثانى والثالث يتحدا ن لتشكيل الوريد الوربى العلوى الأيسر، الذى يصب فى الوريد العضد ى الرأسى الأيسر.

[18] غير مزدوج؛ من *a* = بدون؛ *zygo*= اتحاد، شريك
[19] *hemi* = نصف

[20] *سلى* = البطن، جوف البطن

الشريان الكبدي الأيمن و الشريان الكبدي الأيسر. يصدر ال
شريان الكبدي الأيمن شريان المرارة إلى المرارة، ثم يدخ
ل الشريانان الكبديان الكبد من الأسفل.

2. الشريان المعدي الأيسر يزود المعدة والمريء السفلي بالدم
، وينحني حول الانحناء الأصغر (الهامش العلوي الوسيط) للمع
دة، ويتشابك مع الشريان المعدي الأيمن (الشكل 20.35ب
). وهكذا، يقترب الشريانان المعديان الأيمن والأيسر من اتجاه
ين متعاكسين ويزودان هذا الهامش من المعدة. كما أن الشر
يان المعدي الأيسر له فروع للمريء السفلي، والشريان المعدي ا
لأيمن يزود الاثني عشر أيضًا.

3. الشريان الطحالي يزود الطحال بالدم، لكنه يصدر الفروع التالية
في طريقه إلى هناك.

أ. تغذي عدة شرايين صغيرة البنكرياس البنكرياس.

ب. الشريان المعدي-القولوني الأيسر يدور حول الانحناء الأكبر (ا
لهامش السفلي الجانبي) للمعدة ويتصل تشريحيًا مع الشريا
ن المعدي-القولوني الأيمن. هذان الشريانان يفصلان عن ال
معدة نفسها بحوالي 1 سم ويمران عبر الحافة العلوية للغشاء
الدهني الأكبر، وهو غشاء دهني معلق من الانحناء الأكبر (انظر
الشكل B.4 في الأطلس B، والشكل 25.3). يزودان الدم ل
كل من المعدة والغشاء الدهني.

ج. الشرايين المعدية القصيرة تزود الجزء العلوي
(القاع) من المعدة.

إمداد الدم المساريقي

المساريق هو ورقة شفافة تعلق الأمعاء والأحشاء البطنية الأخرى من
جدار الجسم الخلفي (انظر الشكل A.8 في الأطلس A، والشكل 25.3).
يحتوي على العديد من الشرايين والأوردة والأوعية اللمفاوية التي تزود
الأمعاء بالدم وتُصرف منها. ينشأ الإمداد الشرياني من الشريان المسا
ريقي العلوي والشريان المساريقي السفلي؛ وتضمن العديد من التشا
بكات بينهما دورانًا جانبيًا كافيًا للأمعاء حتى في حال انسداد أحد الم
سارات مؤقتًا.

الشريان المساريقي العلوي (الشكل 20.36a) هو أهم مصدر دمو
ي للأمعاء، حيث يخدم تقريبًا كامل الأمعاء الدقيقة والنصف القريب م
ن الأمعاء الغليظة. ينشأ من منتصف الشريان الأبهر البطني العلوي و
يعطي الفروع التالية:

1. الشريان البنكرياسي الاثني عشري السفلي يتفرع ليحيط بالجان
ب الأمامي والخلفي للبنكرياس ويتصل تشريحيًا مع فرعي ال
شريان البنكرياسي الاثني عشري العلوي.

2. اثنا عشر إلى خمسة عشر شريانًا jejunal و ileal تتفرع عبر الم
ساريق لتغذي تقريبًا كامل الأمعاء الدقيقة (الأجزاء المسماة j
ejunum و ileum).

3. الشريان اللفائفي القولوني (ILL-ee-oh-CO-lic) يزود ال
لفائفي، الزائدة الدودية، وأجزاء من الأمعاء الغليظة (الأعور والقو
لون الصاعد).

4. الشريان القولوني الأيمن يزود أيضًا القولون الصاعد.

5. الشريان القولوني الأوسط يزود معظم القولون المستعرض.

4. تنشأ الشرايين فوق الكلوية الوسطى من الجانب الجانبي للأ
بهر، عادةً عند نفس مستوى الشريان المساريقي العلوي. وتزو
د الغدد الكظرية بالدم.

5. تزود الشرايين الكلوية الكليتين وتصدر شريانًا صغيرًا فوق ا
لكلوي السفلي لكل غدة كظرية.

6. الشرايين الجنسانية—الشرايين المبيضية لدى الأنثى والشرا
يين الخصوية لدى الذكر—هي شرايين طويلة ورفيعة تنشأ م
ن منتصف الأبهر البطني وتنزل على طول الجدار الخلفي
للجسم إلى تجويف الحوض لدى الأنثى أو كيس الصفن لدى ا
لذكر. وتزود هذه الشرايين الغدد التناسلية بالدم. تبدأ الغدد ال
تناسلية تطورها الجنيني بالقرب من الكليتين، وتكون الشرايين
الجنسانية حينها قصيرة جدًا. ومع نزول الغدد التناسلية إلى تج
ويف الحوض، تنمو هذه الشرايين وتكتسب طولها ومسارها ا
لمميز.

7. يزود الشريان المساريقي السفلي الطرف البعيد من الأمعاء ا
لغليظة بالدم.

8. تنشأ الشرايين القطنية من الأبهر السفلي في أربعة أزواج. و
تزود الجدار البطني الخلفي (العضلات، والمفاصل، والجلد) وا
لحبل الشوكي وأنسجة أخرى في القناة الفقرية.

9. يزود الشريان العجزي المتوسط، وهو شريان متوسط صغير عند
الطرف السفلي للأبهر، العجز والعصعص بالدم.

10. تنشأ الشرايين الحرقفية المشتركة عند تفرع الأبهر في نهاي
ته السفلى. وسنتابع تتبعها في مناقشات لاحقة حول شرايين م
نطقة الحوض والطرف السفلي.

فروع الجذع البطني

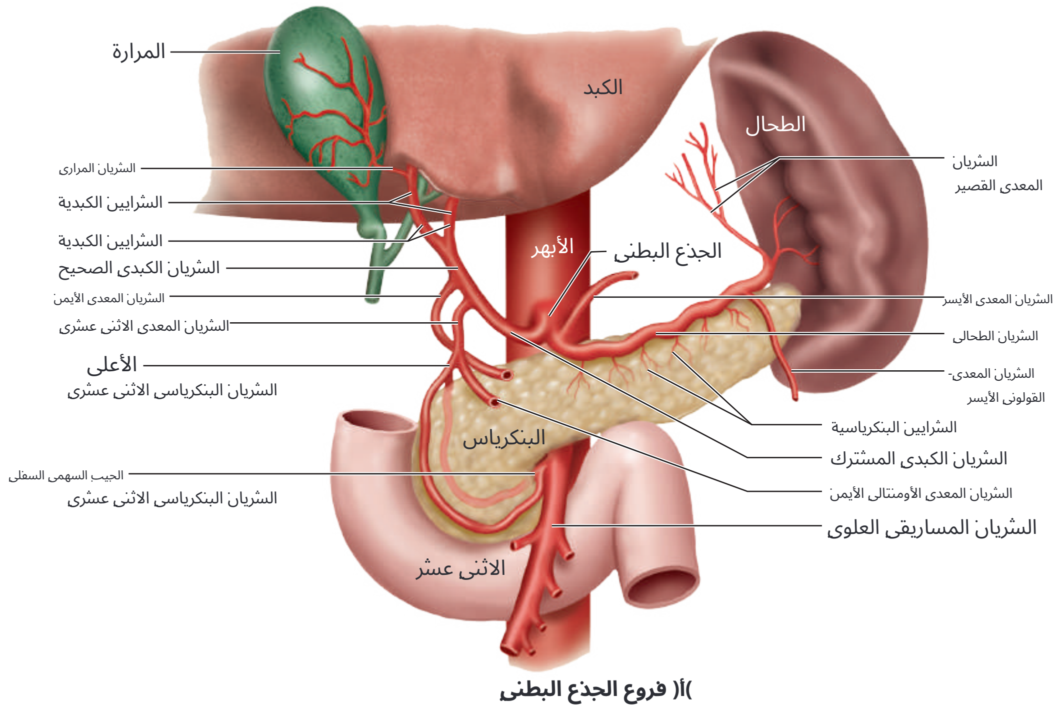
الدورة الدموية البطنية للأحشاء العلوية هي أكثر الطرق تعقيدًا من الأ
بهر البطني. نظرًا لوجود العديد من التشابكات الوعائية، لا يتبع مجرى
الدم مسارًا خطيًا بسيطًا، بل ينقسم ويلتقي بنفسه في عدة نقاط. أثناء
دراستك للوصف التالي، حدد هذه الفروع في الشكل 20.35 وحدد ن
قاط التشابك الوعائي. الحجم الصغير والمسارات المعقدة لهذه الشرا
يين تشكل عقبات رئيسية أمام العلاج الجراحي لسرطان البنكرياس.

الجذع البطني القصير والقصير جدًا، الذي لا يزيد طوله عن 1 سم،
هو فرع وسطي من الأبهر أسفل الحجاب الحاجز مباشرة. ينبثق منه
فورًا ثلاثة فروع—الشريان الكبدي المشترك، والشريان المعدي الأيسر
، والشريان الطحالي.

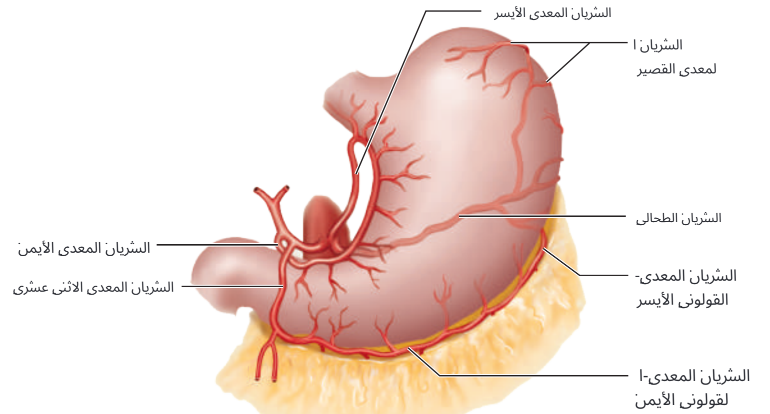
1. يمر الشريان الكبدي المشترك إلى اليمين ويصدر فرعين رئي
سيين:

أ. الشريان المعدي الاثني عشري يصدر الشريان المعدي الكبي
ر الأيمن إلى المعدة. ثم يستمر كالشريان البنكرياسي الاثني ع
شري (PAN-cree-AT-ih-co-dew-ODD-eh-nul)، الذي ين
قسم إلى فرعين يمران حول الجانبين الأمامي والخلفي لرأ
س البنكرياس. تتشابك هذه مع الفرعين للشريان البنكريا
سي الاثني عشري السفلي، الذي سيتم مناقشته تحت عنوا
ن "إمداد الدم المساريقي" لاحقًا.

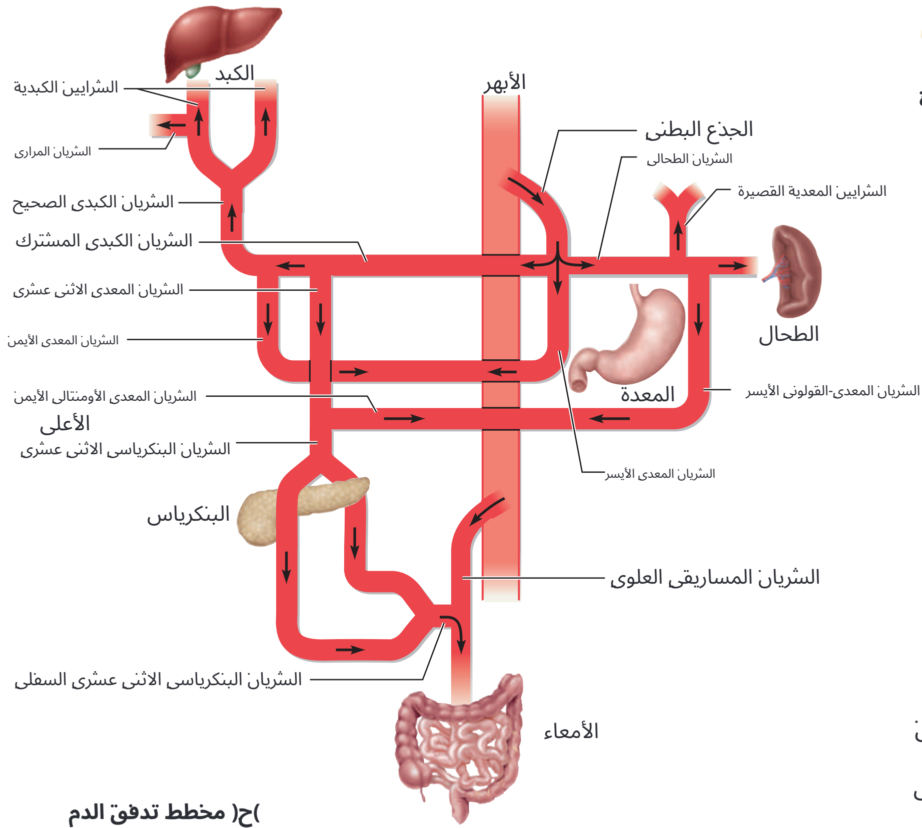
ب. الشريان الكبدي الخاص يصعد نحو الكبد. يصدر الشريان ا
لمعدي الأيمن، ثم يتفرع إلى



)أ(فروع الجذع البطنى

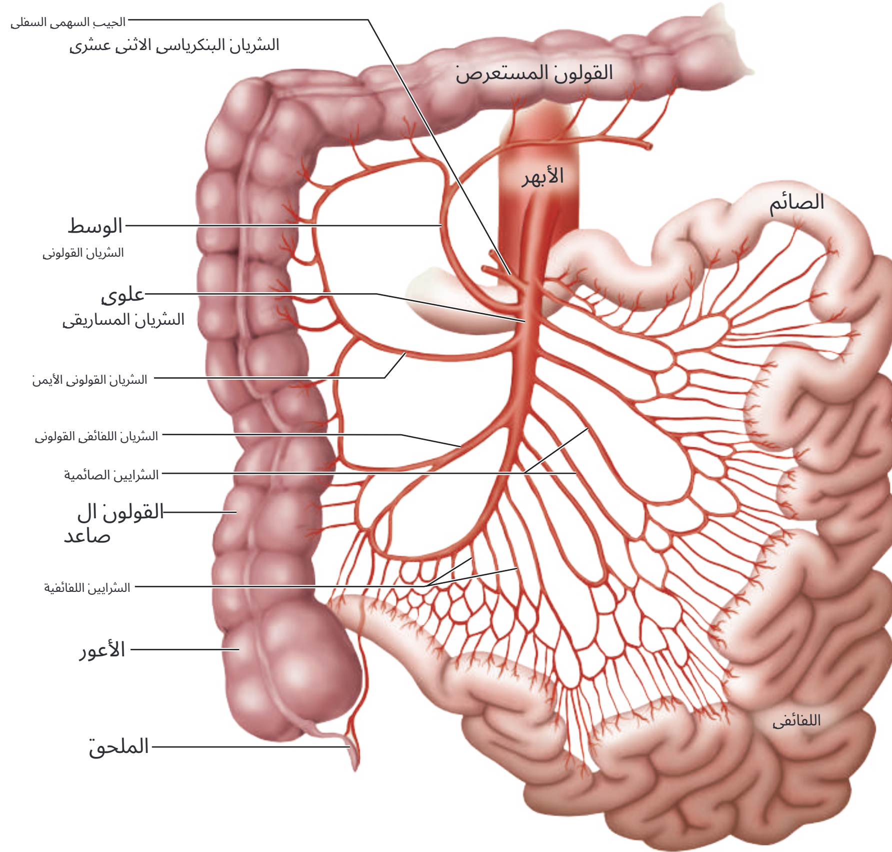


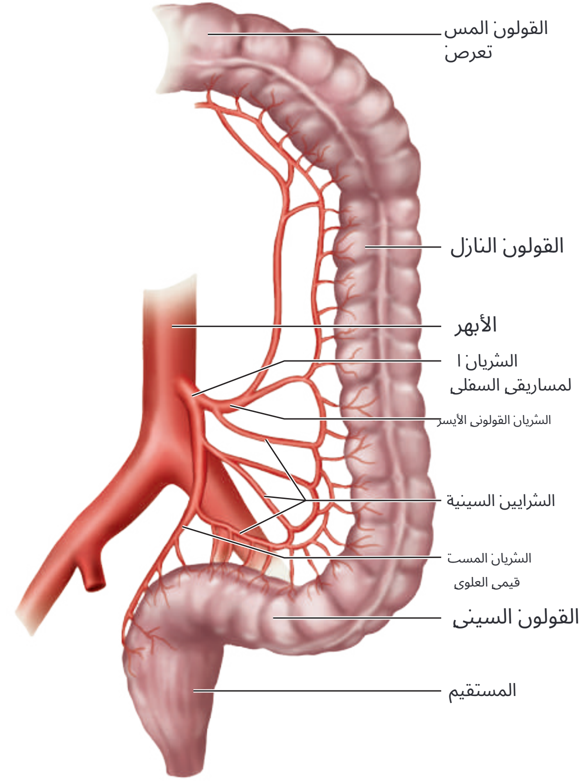
)ب(الدورة الدموية البطنية إلى المعدة



)ح(مخطط تدفق الدم

الشكل 20.35 فروع الجذع البطنى.
)أ(تشريح النظام البطنى مع إزالة المعدة لكشف الشرايين الخلفية أكثر.
)ب(الإمداد الشريانى للمعدة.)ح(مخطط تدفق الدم لنظام البطنى. APR





الشكل 20.36 الشرايين المساريقية.)أ(توزيع الشريان المساريقى العلوى.)ب(توزيع الشريان المساريقى السفلى.

APR

1. الشريان المثانى العلوى[21] يزود المثانة البولية والطرف البعيد م ن الحالب. ينشأ بشكل غير مباشر من الجذع الأمامى عبر شريان السرى القصير، وهو بقايا شريان الحبل السرى الجنينى. يتحول باقى الشريان السرى إلى حبل ليفى مغلق بعد الولادة.

2. فى الذكور، يزود الشريان المثانى السفلى المثانة، الحالب، ال بروستاتا، والحويصلة المنوية. فى الإناث، الوعاء المقابل هو الشريان المهبلى، الذى يزود المهبل وجزءًا من المثانة والمستق يم.

3. الشريان المستقيمى الأوسط يزود المستقيم.

4. الشريان المغلق يخرج من تجويف الحوص عبر الثقبة المغل قة ويزود عضلات الصامة فى الفخذ الداخلى.

5. الشريان العانى الداخلى[22] يخدم العجان والأنسجة الانتصابية لل قضيب والبظر؛ وهو

تنشأ الشريان المساريقى السفلى من الشريان الأبهر البطنى الس فلى ويخدم الجزء البعيد من الأمعاء الغليظة)الشكل 20.36ب(. وين بع منه ثلاثة فروع رئيسية:

1. الشريان القولونى الأيسر يزود القولون المستعرض والنازل.

2. الشرايين السينية تزود القولون النازل والسينى.

3. الشريان المستقيمى العلوى يزود المستقيم.

شرايين منطقة الحوض

تنشأ الشريانان الحرقفيان المشتركان من تفرع الأبهر، وينزلان لمسافة 5 سم أخرى، ثم عند مستوى المفصل العجزى الحرقفى ينقسم كل منهما إلى شريان حرقفى خارجى وشريان حرقفى داخلى. الشريان الحرقفى الخارجى يزود بشكل رئيسى الطرف السفلى)انظر ا لقسم 20.8c(. الشريان الحرقفى الداخلى يزود بشكل رئيسى جدار الح وص والأحشاء. تُظهر فروعه فقط بشكل تخطيطى فى الشكل 20.43. بعد منشئه مباشرة، ينقسم إلى جذعين أمامى وخلفى. الجذع الأمامى ينتج الفروع التالية:

[21] vesic = المثانة

[22] pudend = حرفيًا، "الأجزاء المخجلة"؛ الأعضاء التناسلية الخارجية

20.7غ أوردة مناطق البطن والحوص

أهم مسار لتصريف الدم الوريدى من جميع أجزاء الجسم أسفل الحجا ب الحاجز هو الوريد الأجوف السفلى)IVC(. هذا هو أكبر وعاء دموى فى الجسم، حيث يبلغ قطره حوالى 3.5 سم. يتكون من اتحاد الوريدى ن الحرقفيين المشتركين الأيمن والأيسر عند مستوى الفقرة L5 ويصر ف العديد من الأحشاء البطنية أثناء صعوده على جدار الجسم الخلفى. يقع خلف الصفاق ويقع مباشرة إلى يمين الشريان الأورطى.

الروافد الوريدية للوريد الأجوف السفلى

يقوم الوريد الأجوف السفلى بجمع الدم من العديد من الروافد بالترتيب الت صاعدى التالى)الشكل 20.37(:

1. الأوردة الحرقفية الداخلية تصرف عضلات الألوية، الجانب الداخلى من الفخذ، المثانة البولية، والقولون المستقيم؛ البرو ستاتا والقناة الناقلة للمنى عند الذكر؛ والرحم والمهبل عند الأن ثى. تتحد مع الأوردة الحرقفية الخارجية التى تصرف الطرف ال سفلى والتى تم وصفها فى القسم 20.8د. يشكل اتحادها الأور دة الحرقفية المشتركة، التى تتقارب لتشكل الوريد الأجو ف السفلى.

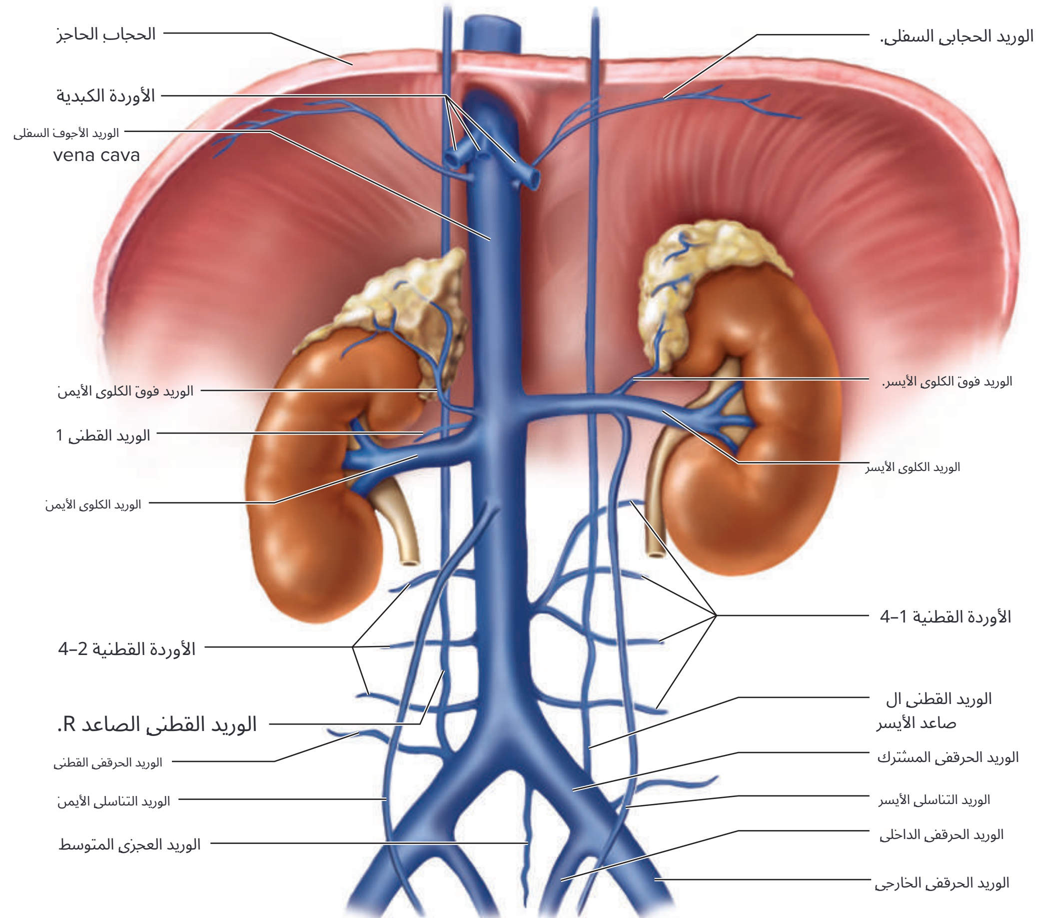
يزود الدم بالاحتقان الوعائى والانتصاب لهذه الأعضاء أثناء الإثار ة الجنسية.

6. فى الإناث، يُعتبر الشريان الرحمى المصدر الرئيسى لتغذية الر حم بالدم ويزود بعض الدم للمهبل. يتوسع بشكل كبير أثناء الحم ل ويُعد المصدر الرئيسى للدم إلى المشيمة، وبالتالى فهو مهم ح داً لتطور الجنين. يمر على هامش الرحم، ثم ينحرف جانبياً عند قناة الرحم ويتصل بالشريان المبيضى، مما يزود المبيض بالدم أيضاً)انظر الشكل 28.6(.

7. يزود الشريان الأردافى السفلى عضلات الأرداف ومفصل الورك.

ينتج الجذع الخلفى الفروع التالية:

1. يزود الشريان الحرقفى القطنى جدار الجسم القطنى وعظام الح وص.
2. تتجه الشرايين العجزية الجانبية إلى أنسجة القناة العجزية، والجلد، والعضلات خلف العجز. عادةً ما يكون هناك اثنان منها ، العلوى والسفلى.
3. الشريان الألوية العلوية يغذى جلد وعضلات منطقة الألوية وأن سجة العضلات والعظام لجدار الحوص.



الشكل 20.37 الوريد الأجوف السفلى ور وافده. قارن مخطط تدفق الدم فى الشك ل 20.33ب.

لماذا تنتهى الأوردة التى تصرف الم بايض والخصيتين بعيدًا جدًا عن الغدد ا لتناسلية؟

للحصول على هذه المغذيات قبل توزيعها على بقية الجسم. كما يسمح للكبد بتنقية الدم من البكتيريا والسموم التي تم التقاطها من الأمعاء — وهي وظيفة مهمة للكبد. الأوردة الرئيسية في النظام البابي الكبدي هي كما يلي:

1. تستقبل الوريد المساريقي السفلي الدم من المستقيم والقولون البعيد. يتجمع في شكل مروحي في المساريق ويفرغ في الوريد الطحالي.

2. يستقبل الوريد المساريقي العلوي الدم من الأمعاء الدقيقة بأكملها، والقولون الصاعد، والقولون المستعرض، والمعدة. كما يظهر ترتيبًا مروحيًا في المساريق، ثم ينضم إلى الوريد الطحالي لتشكيل الوريد البابي الكبدي.

3. يصرف الوريد الطحالي الدم من الطحال ويمر عبر التجويف البطني العلوي باتجاه الكبد. على طول الطريق، يلتقط الأوردة البنكرياسية من البنكرياس، ثم يلتقط الوريد المساريقي السفلي، وينتهي حيث يلتقي بالوريد المساريقي العلوي.

4. الوريد البابي الكبدي هو استمرار بعد التقاء الوريد الطحالي والوريد المساريقي العلوي. يستمر حوالي 8 سم صعودًا وإلى اليمين، يستقبل الوريد المراري من المرارة، ثم يدخل السطح السفلي للكبد. في الكبد، يؤدي في النهاية إلى العديد من الجيوب الكبدية المجهرية. يجمع الدم من الجيوب في الأوردة الكبدية، وتفرغ في الوريد الأجوف السفلي. تُوصف الدورة الدموية داخل الكبد بمزيد من التفصيل في القسم 25.4أ.

5. تشكل الأوردة المعدية اليمنى واليسرى قوسًا على طول الانحناء الأصغر للمعدة وتفرغ في الوريد البابي الكبدي.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

26. قارن بإيجاز بين وجهات الشرايين السباتية الخارجية والداخلية.

27. اذكر باختصار الأعضاء أو أجزاء الأعضاء التي يزودها الدم بواسطة)أ(دائرة الشرايين الدماغية،)ب(الجذع البطني)celiac trunk(،)ح(الشريان المساريقي العلوي، و)د(الشريان الحرقفي الداخلي.

28. إذا كنت تقوم بتشريح جثة، أين ستبحث عن الأوردة الوداجية الداخلية والخارجية؟ وأي عضلة ستساعدك في التمييز بينهما؟

29. تتبع مسار خلية دم من جدار الجسم القطني الأيسر إلى الوريد الأجوف العلوي، مع تسمية الأوعية الدموية التي ستسير من خلالها.

2. أربعة أزواج من الأوردة القطنية تصب في الوريد الأجوف السفلي وكذلك في الأوردة القطنية الصاعدة الموضحة في القسم التالي.

3. الأوردة التناسلية—الأوردة المبيضية للأنثى والأوردة الخصوية للذكر—تصرف الدم من الغدد التناسلية. مثل الشرايين التناسلية، وللنفس السبب، هذه أوعية طويلة ورفيعة تنتهي بعيدًا عن منشأها. تصب الوريد التناسلي الأيسر في الوريد الكلوي الأيسر، بينما يصب الوريد التناسلي الأيمن مباشرة في الوريد الأجوف السفلي.

4. تقوم الأوردة الكلوية بتصريف الكليتين إلى الوريد الأجوف السفلي)IVC(. كما تستقبل الوريد الكلوي الأيسر الدم من الوريد الجنسي الأيسر والأوردة فوق الكلوية اليسرى. ويبلغ طوله ثلاثة أضعاف طول الوريد الكلوي الأيمن، نظرًا لأن الوريد الأجوف السفلي يقع إلى يمين خط منتصف الجسم.

5. تقوم الأوردة فوق الكلوية بتصريف الغدد الكظرية)فوق الكلوية(. يصب الوريد فوق الكلوي الأيمن مباشرة في الوريد الأجوف السفلي، بينما يصب الوريد فوق الكلوي الأيسر في الوريد الكلوي الأيسر.

6. تقوم الأوردة الحجابية السفلية بتصريف الجانب السفلي من الحجاب الحاجز.

7. تقوم ثلاث أوردة كبدية بتصريف الكبد، وتمتد مسافة قصيرة من سطحه العلوي إلى الوريد الأجوف السفلي.

بعد استقبال هذه الأوردة، يخترق الوريد الأجوف السفلي الحجاب الحاجز ويدخل الأذين الأيمن للقلب من الأسفل)انظر الشكل 19.5(. ولا يستقبل أي تصريف صدري.

أوردة جدار البطن

تستقبل زوج من الأوردة القطنية الصاعدة الدم من الأوردة الحرقفية المشتركة أدناه ومن الأوردة القطنية المذكورة سابقًا في جدار الجسم الخلفي)انظر الشكل 20.33ب(. تعطي الأوردة القطنية الصاعدة تشابكات وريدية مع الوريد الأجوف السفلي المجاور لها أثناء صعودها نحو الحجاب الحاجز. يمر الوريد القطني الصاعد الأيسر عبر الحجاب الحاجز عبر فتحة الأبهر ويستمر كـ الوريد نصف الأزرق أعلاه.

يمر الوريد القطني الصاعد الأيمن عبر الحجاب الحاجز إلى يمين العمود الفقري ويستمر كـ الوريد الأزرق. تم وصف المسارات اللاحقة لأوردة الأزرق ونصف الأزرق سابقًا.

الجهاز البابي الكبدي

يستقبل النظام البابي الكبدي كل الدم القادم من الجهاز الهضمي البطني، وكذلك من البنكرياس، والمرارة، والطحال)الشكل 20.38(. مثل الأنظمة البابية الأخرى، يمر الدم عبر شبكتين من الشعيرات الدموية على التوالي في دورة واحدة حول الدورة الدموية الجهازية. الشبكة الأولى من الشعيرات الدموية في هذه الحالة تكون في الأمعاء والأعضاء الهضمية الأخرى؛ والثانية هي شبكة من الشعيرات الدموية المعدلة في الكبد تسمى *الجيوب الكبدية*)انظر الشكل 20.6(. يكون دم الأمعاء غنيًا بالمغذيات لبضع ساعات بعد الوجبة. يمنح النظام البابي الكبدي الكبد الأولوية



أ) فروع نظام البوابة الكبدية



ب) مخطط تدفق الدم

الشكل 20.38 نظام البوابة الكبدية. أ) الروافد لنظام البوابة الكبدية. ب) مخطط تدفق الدم للنظام.

APR



نظرة أعمق 20.4

تطبيق سريرى

ارتفاع ضغط الدم البابى والاستسقاء

الاستسقاء (ah-SY-teez) هو التراكم غير الطبيعى للسائل المصلى فى التجويف ا لبريتونى، ويتميز بانتفاخ البطن (الشكل 20.39). عادةً ما يرتبط بالإدمان على الك حول، رغم أنه يمكن أن يكون له أسباب أخرى مثل سوء التغذية (انظر الشكل 18.3)، فشل القلب، العدوى، السرطان، والتهاب الكبد المزمن. يسبب الاستهلاك الم فرط للكحول تليف الكبد—التهاب، وتدمير خلايا الكبد، واستبدالها بنسيج دهنى و ألياقى (انظر نظرة أعمق 26.4). الكبد المتدهور يسبب مقاومة زائدة لتدفق الدم، م ما يؤدى إلى ارتفاع ضغط الدم البابى—ارتفاع ضغط الدم فى الدورة الدموية البابية الكبدية.

نظرًا لأن الطحال يصرف دمه إلى النظام البابى الكبدى، فإن ضغط الدم يتراجع إلى الطحال أيضًا. يصبح كل من الكبد والطحال متضخمين (تضخم الكبد و تضخم ال طحال) ويُفرزان سائلًا مصليًا إلى التجويف البريتونى. كما يفشل الكبد المتعطل فى إزالة الهرمونات من الدم بشكل كافٍ، لذا يتراكم الألدوستيرون والهرمون الم ضاد لإدرار البول ويحفزان زيادة احتباس السوائل، مما يزيد من سوء الاستسقاء. يمكن للشخص أن يحتفظ بما يصل إلى 10 إلى 20 لترًا من سائل البطن، مما ى ضغط على الأحشاء البطنية الأخرى والحجاب الحاجز مسببًا ضيق التنفس. العدوى المسماة التهاب الصفاق الجرثومى التلقائى (SBP) هى مضاعفة شائعة للاست سقاء. التوقعات للتعافى من الاستسقاء، خاصة مع SBP، سيئة؛ حيث يموت حوا لى 25% من المرضى خلال سنة واحدة من التشخيص، غالبًا بسبب استمرار شر ب الكحول بكثرة.



الشكل 20.39 الاستسقاء. البطن منتفخ بسائل مصلية متجمعة تسربت من الكبد، والطحال، و الأوعية الدموية المعوية.

مديسكان/صورة مخزنة من ألامى

20.8 الأوعية الجهازية لمنطقة ا لأطراف

النتائج التعليمية المتوقعة

عندما تكمل هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. تحديد الشرايين والأوردة الجهازية الرئيسية للأطراف؛ و

ب. تتبع تدفق الدم من القلب إلى أى منطقة من الطرف العلوى أو ال سفلى والعودة إلى القلب.

الأوعية الرئيسية لمنطقة الأطراف مفصلة فى الأقسام التالية، من 20.8أ إلى 20.8د. على الرغم من أن شرايين الأطراف عادة ما تكون عميقة ومحميّة جيدًا، فإن الأوردة توجد فى مجموعتين عميقة وسطحية.

مسارات الأوردة تحتوى على المزيد من التشابكات (التوصيلات) مقارنة بمسارات الشرايين، لذلك غالبًا ما لا يكون مسار التدفق مبا شرًا. إذا تم توضيح جميع التشابكات، فإن العديد من هذه المسارات ا لوريدية ستبدو أكثر شبهاً بشبكات معقدة بدلاً من مسار واضح للعودة إلى القلب. لذلك، تم حذف معظم التشابكات—وخاصة المتغيرة وغ ير المسماة—من الأشكال لتتيح لك التركيز على المسار العام لتدفق ا لدم. كما ستساعد مخططات تدفق الدم فى عدة أشكال، مثل خرائط ا لطرق، على توضيح هذه المسارات.

20.8أ شرايين الطرف العلوى

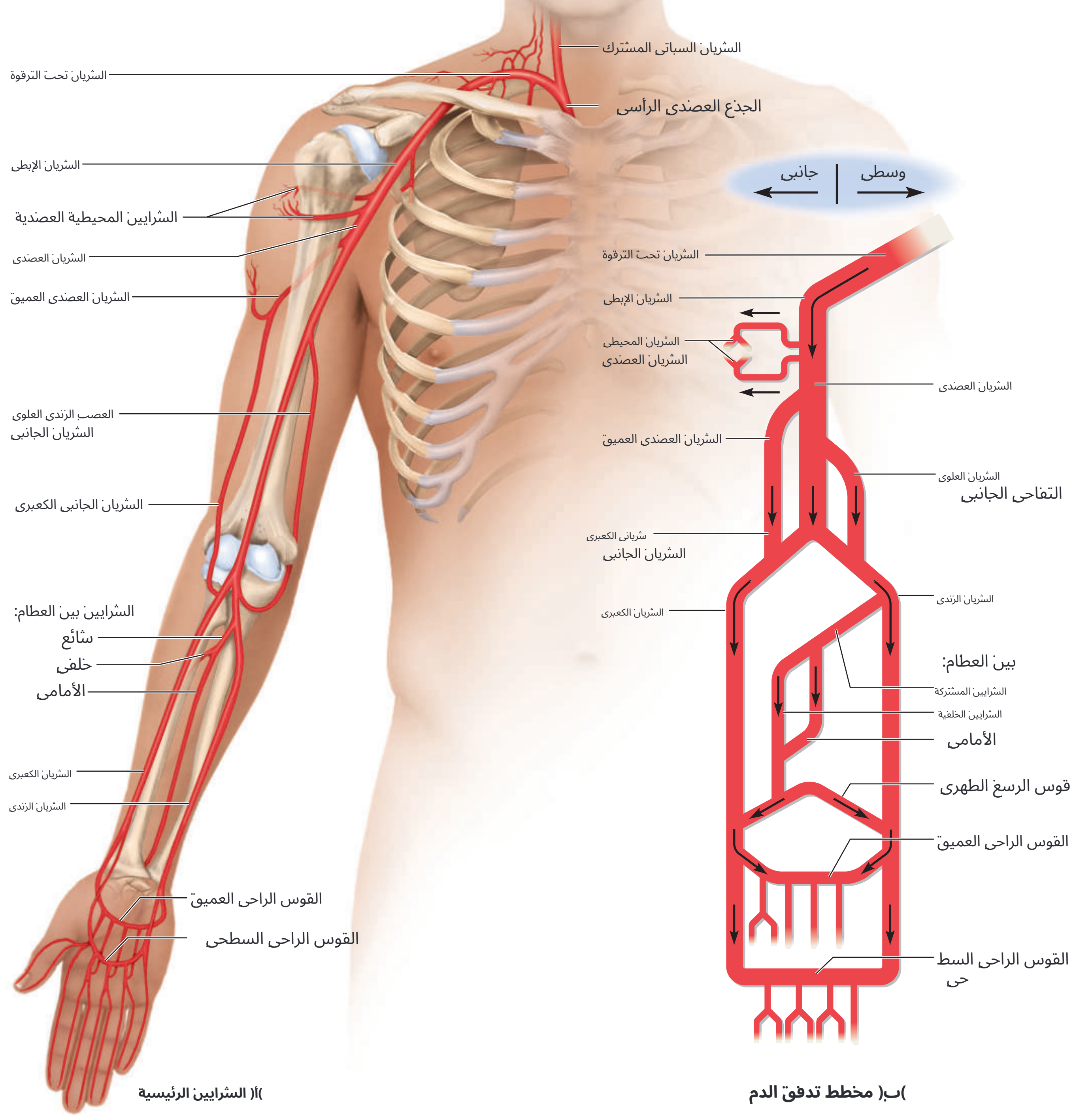
يتم تزويد الطرف العلوى بشريان بارز يتغير اسمه على طول مساره م ن *تحت الترقوة* إلى *الإبطى* إلى *العضدى* ثم يصدر فروعًا للذراع، ا لساعد، واليد (الشكل 20.40).

الكتف والذراع

الكتف والذراع، مثل الرأس ومعظم الأحشاء الصدرية، تتلقى أيضًا إمد ادها الدموى من شرايين تنشأ من قوس الأبهر. تبدأ هذه المسارات بالشرايين تحت الترقوة، المسماة نسبة إلى قربها من الترقوة.

1. الجذع العضدى الرأسى ينشأ من قوس الأبهر ويتفرع إلى الشر يان السباتى المشترك الأيمن و الأيمن الشريان تحت الترقوة. ينشأ الشريان تحت الترقوة الأيسر مبا شرة من قوس الأبهر قليلاً بعد الجذع العضدى الرأسى. يقو س كل شريان تحت الترقوة فوق الرئة المقابلة، مرتفعًا حتى قا عدة العنق قليلاً فوق عظمة الترقوة. ثم يمر خلف عظمة الترق وة، متجهًا للأسفل فوق الضلع الأول، وينتهى بالاسم فقط عند الحافة الجانبية للضلع. فى الكتف، ينبعث منه عدة فروع صغ يرة إلى جدار الصدر والأحشاء، والتى تم وصفها فى القسم 20.7د.

2. مع استمرار الشريان بعد الضلع الأول، يُسمى الشريان الإبطى. يمر عبر منطقة الإبط، ويُفرز فروعًا صدرية صغيرة، وينتهى، مرة أخرى بالاسم



الشكل ٠٤.٠٢ شرايين الطرف العلوى.)أ(الشرايين الرئيسية، منظر أمامى.)ب(مخطط تدفق الدم فى الطرف العلوى.
لماذا تكون التشابكات الشريانية شائعة بشكل خاص عند المفاصل مثل الكتف والكوع؟

إلى الأوردة الإبطية وتحت الترقوة، والتي بدورها تتجه نحو القلب.

الأوردة السطحية

الأوردة السطحية مدمجة في النسيج تحت الجلد للطرف؛ قد تتمكن م ن رؤية عدة منها من خلال جلد يدك، وساعدك، وذراعك)الشكل 20. .(42 وهي أكبر في القطر وتحمل دمًا أكثر من الأوردة العميقة.

1. شبكة الأوردة الظهرية هي ضفيرة من الأوردة غالبًا ما تكون مر ئية من خلال الجلد على ظهر اليد. تفرغ في الأوردة السطحية الر ئيسية للساعد، وهما الوريد الكفي والوريد القاعدي.

2. الوريد الكفي)sef-AL-ic(ينشأ من الجانب الجانبي للشبكة. يم ر صعودًا على الجانب الجانبي من الساعد والذراع إلى الكت ف، وينضم هناك إلى الوريد الإبطي. غالبًا ما يتم إعطاء السوائل الوريدية عبر الطرف البعيد لهذا الور يد.

3. الوريد البازيليك[26])bah-SIL-ic(ينشأ من الجانب الوس يط للشبكة، يمر على الجانب الخلفي من الساعد، ويستمر إلى الذراع. ينحرف إلى الداخل تقريبًا في منتصف الذراع وينضم إ لى الوريد العضدي في الإبط. كمساعدة لتذكر أي وريد هو ال سيفالي وأي وريد هو البازيليك، تخيل ذراعك ممدودة بعيدًا عن الجذع)مبعودة(مع الإبهام مرفوعًا. يمر الوريد السيفالي على الجانب العلوي من الذراع أقرب إلى الرأس)كما هو مقترح من

"*cephal*، "رأس"(، واسم *basilic* يشير إلى الجانب السفلي)ا لقاعدي(من الذراع)على الرغم من أنه لم يُسمَّ لهذا السبب؛ *basilic* تعني "بارز"، كما في *basilica*(

4. الوريد المتوسط الكعبري هو تواصل قصير بين الوريد السِفْلي وا لوريد القاعدي يعبر بشكل مائل حفرة الكوع)الثنية الأمامية لل كوع(. غالبًا ما يكون واضحًا من خلال الجلد وهو موقع شائع لس حب الدم.

5. الوريد المتوسط الأمامي للساعد يصرف شبكة من الأوعية ال دموية في اليد تُسمى الشبكة الوريدية الراحة السطحية. يمر صعودًا على الساعد الوسيط وينتهي عند المرفق، حيث يصب بشكل متنوع في الوريد البازيليك، الوريد المتوسط الكعبي، أو الور يد السِفْلي.

الأوردة العميقة

تسير الأوردة العميقة موازية للشرايين وغالبًا ما تحمل أسماء مشابهة)مثل *الأوردة العضدية والشريان العضدي*(. في بعض الحالات، توجد الأوردة العميقة في أزواج تحيط بالشريان المقابل)مثل الوريدين *الكعبرين* اللذين يقعان بجانب *الشريان الكعبر*.(

1. الأقواس الوريدية الكفّية العميقة والسطحية تستقبل الدم م ن الأصابع ومنطقة الكف. وهي تشابكات وريدية تربط بين الأور دة الكعبرية والزندية.

2. ينشأ زوج من الأوردة الشعاعية من الجانب الجانبي للأقواس الراحة ويمتدان صعودًا على الساعد بجانب العظم الكعبر)ا لراديَاس(. بالقرب من المرفق بقليل، تلتقي هذه الأوردة معًا و تشكل واحدة من الأوردة العضدية.

فقط، عند عنق العضد. هنا، ينبثق منه زوج من الشرايين المحيطية[23] الشرايين العضدية، التي تحيط بالعضد، تتصل ببعضها جانبياً، وتزود الدم إلى مفصل الكتف وعضلة الدالية. بعد هذه الحلقة، تستمر كالشريان التالي.

3. الشريان العضدي)BRAY-kee-ul(يستمر نزولاً على الجانبي ن المتوسط والأمامي للعضد وينتهي مباشرة بعد المرفق، مزوداً عضلات الثني الأمامية للذراع على طول الطريق. هذا ال شريان هو الموقع المعتاد لقياس ضغط الدم باستخدام جهاز ق ياس ضغط الدم)sphygmomanometer(.

4. الشريان العضدي العميق ينشأ من الطرف القريب للشريان ال عضدي ويزود الدم إلى العضد وعضلة الترايسبس براشيي. حوالي منتصف الذراع، يستمر كالشريان التالي.

5. الشريان الجانبي الشعاعي ينشأ من الشريان العضدي العميق، وينزل على الجانب الجانبي للذراع، ويفرغ في الشريان الشعاعي قليلاً بعد المرفق.

6. الشريان الجانبي الزندي العلوي ينشأ حوالي منتصف الشريا ن العضدي وينزل على الجانب الإنسي للذراع. يفرغ في الشريان الزندي قليلاً بعد المرفق.

الساعد واليد

مباشرة بعد المرفق، يتفرع الشريان العضدي إلى الشريان الشعاعي وال شريان الزندي.

1. الشريان الشعاعي ينزل الساعد جانبياً، بجانب عظم الكعبرة، مغ ذياً عضلات الساعد الجانبية. أكثر الأماكن شيوعاً لأخذ النبض هو عند الشريان الشعاعي مباشرة قبل الإبهام.

2. الشريان الزندي ينزل الساعد جانبياً، بجانب عظم الزند، مغذياً ع ضلات الساعد الإنسيّة.

3. تقع الشرايين بين العظمية[24] في الساعد بين العظم الكعبر وا لعظم الزندي. تبدأ بشريان بين عظمي مشترك قصير يتفرع م ن الطرف العلوي للشريان الزندي. ينقسم العظم المشترك بسرعة إلى فروع أمامية وخلفية. الشر يان العظمي الأمامي يسير على الجانب الأمامي من الغشاء الع ظمي، مغذيًا عظم الكعبرة)الراديوس(، وعظم الزند)الألنا(، وعض لات الثني العميقة. ينتهي في الطرف البعيد بمروره عبر الغشاء العظمي للانضمام إلى الشريان العظمي الخلفي.الشريان العظم ي الخلفي ينزل على الجانب الخلفي من الغشاء العظمي ويغذي بشكل رئيسي عضلات الباسطة السطحية.

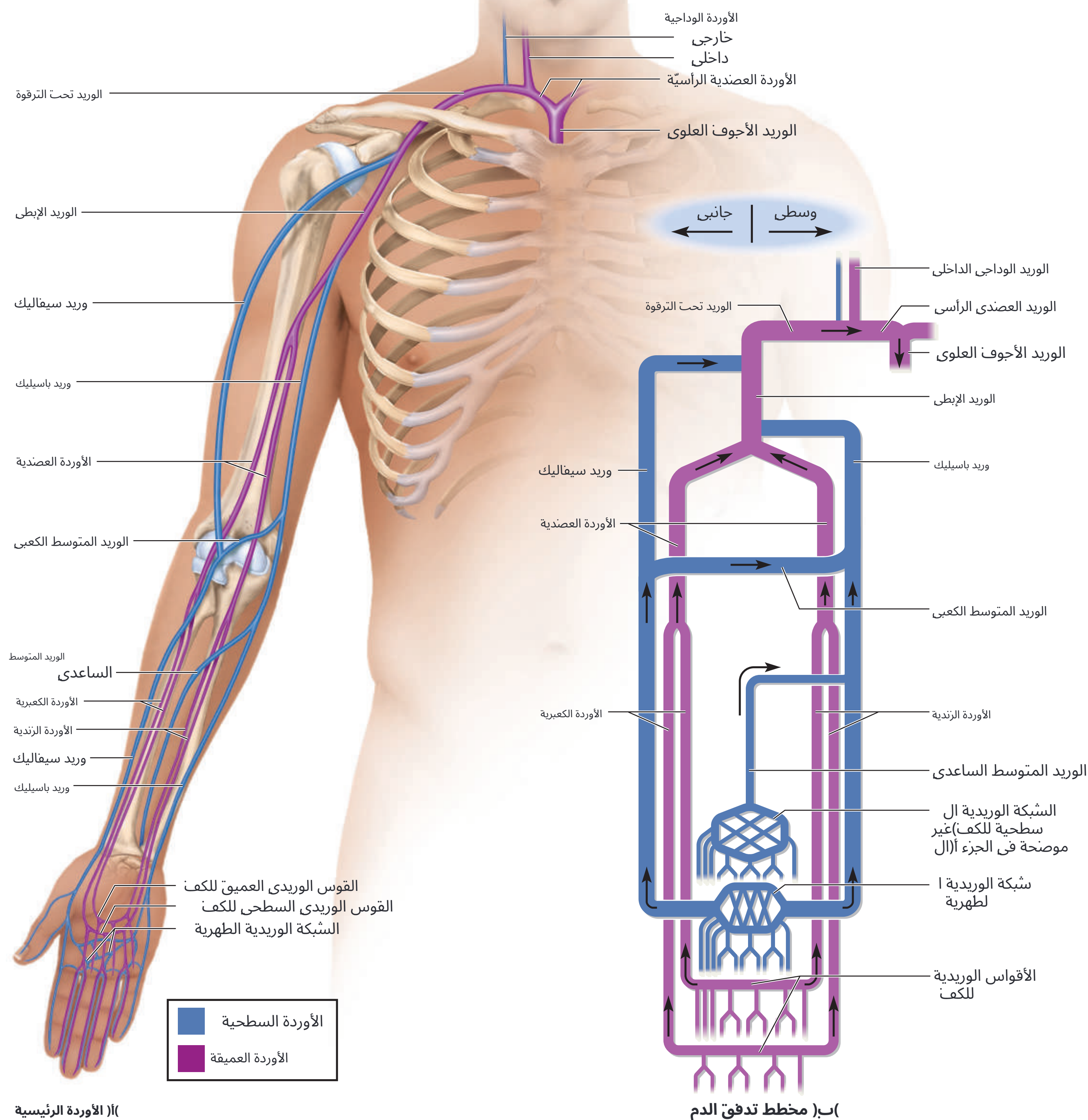
4. ينشأ قوسان راحتيان على شكل حرف U من التشابك بين ال شرايين الكعبرية والزندية عند المعصم. القوس الراحي العميق ي غذيه بشكل رئيسي الشريان الكعبري، و القوس الراحي السطحي يغذيه بشكل رئيسي الشريان الزندي. تصدر الأقواس شرايين أصغر إلى منطقة الراحة والأصابع.

20.8ب أوردة الطرف العلوي

تقوم كل من الأوردة السطحية والعميقة بتصريف الطرف العلوي)الشكل 20.41(. سنتتبع هذه الأوردة بترتيب تدفق الدم، من اليد

[25] *رأس* = الرأس
[26] *بَسيليك* = بارز، مهم

[23] *سيركوم* = حول؛ *فليكس* = للانحناء
[24] *إنتر* = بين؛ *أوسي* = عظام



الشكل 20.41 أوردة الطرف العلوى.)أ(الأوردة الرئيسية، منظر أمامى.)ب(مخطط تدفق الدم فى الطرف العلوى. التباينات فى هذا النمط شائعة جداً. تم حذف العديد من التشابكات الوريدية للوضوح. APR

ادكر ثلاثة أوردة غالبًا ما تكون مرئية من خلال جلد الطرف العلوى.

2. الشريان الفخذى يمر عبر المثلث الفخذى فى الجزء العلوى من الفخذ الداخلى، حيث يمكن الشعور بنبضه)انظر التعمق 20.5(. فى المثلث، يصدر عدة شرايين صغيرة إلى الجلد، ثم ينتج الفروع التالية قبل أن ينزل بقية الطريق إلى الركبة.

أ. الشريان الفخذى العميق ينشأ من الجانب الجانبى للشريان الفخذى داخل المثلث. وهو أكبر فرع ويعد الإمداد الشريا نى الرئيسى لعضلات الفخذ.

ب. فرعا الشريان الفخذى المحيطى ينشآن من الشريان الفخ ذى العميق، يحيطان برأس عظم الفخذ ويتصلان جانبيًا. يزو دان بشكل رئيسى عظم الفخذ، مفصل الورك، وعضلات أ وتار الركبة.

3. الشريان المأبضى هو استمرار للشريان الفخذى فى الحفرة المأ بضية خلف الركبة. يبدأ حيث يخرج الشريان الفخذى من فتحة)فتحة العضلة الصامة الكبرى(فى وتر العضلة الصامة الكبرى وى نتهى حيث ينقسم إلى الشريان الظنبوبى الأمامى والظنبوبى الخ لفى. أثناء مروره عبر الحفرة المأبضية، يصدر تشابكات شريان ية تسمى شرايين الركبة)الشرايين الركابية(التى تزود مفصل الركبة.

شرايين الساق والقدم

فى الساق نفسها، الشرايين الثلاثة الأكثر أهمية هى الشريان الظنبوبى الأمامى، الشريان الظنبوبى الخلفى، والشريان الشظوى.

1. الشريان الظنبوبى الأمامى ينشأ من الشريان المأبضى ويخترق فورًا الغشاء بين العظمى للساق إلى الحيز الأمامى. هناك، يقع جانب الظنبوب ويزود عضلات الباسطات بالدم. عند وصوله إ لى الكاحل، يُفرز الفروع التالية:

أ. الشريان الظهرى للقدم يعبر الكاحل والسطح الإنسى الع لوى للقدم ويعطى منشأ للشريان القوسى.

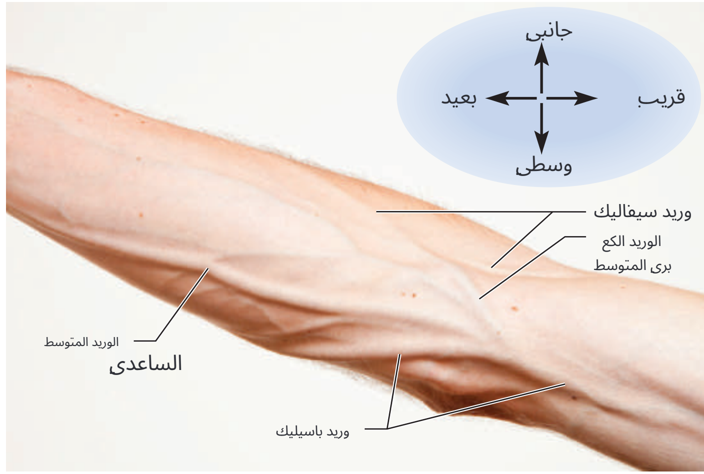
ب. الشريان القوسى يمر عبر الجانب العلوى)الظهرى(للقدم م ن الإنسى إلى الوحشى ويُفرز شرايين صغيرة تزود أصابع القد م بالدم.

2. الشريان الظنبوبى الخلفى هو استمرار للشريان المأبضى الذى يم ر نزولًا فى الساق، عميقًا فى الحيز الخلفى، مزودًا عضلات الم ثنية على طول الطريق. فى الأسفل، يمر خلف الكعب الإنسى لل كاحل ويدخل منطقة باطن القدم. ويعطى المنشأ للفروع التالية :

أ. الشرياناان الأخمصيان الإنسى والوحشى ينشآن من تفرع ا لشريان الظنبوبى الخلفى عند الكاحل. الشريان الأخمصى ا لإنسى يزود بشكل رئيسى إصبع القدم الكبير. الشريان الأخ مصى الوحشى يعبر باطن القدم ويصبح القوس الأخمصى العميق.

ب. القوس الأخمصى العميق يُفرز مجموعة أخرى من الشرايين الصغ يرة إلى أصابع القدم.

3. الشريان الشظوى)الشريان الشظوى الجانبى(ينشأ من الطر ف القريب للشريان الظنبوبى الخلفى بالقرب من الركبة. ينزل عبر الجانب الوحشى من الحيز الخلفى، مزودًا عضلات الساق ا لجانبية بالدم على طول الطريق، وينتهى فى شبكة من الشرايين فى الكعب.



الشكل 20.42 الأوردة السطحية للذراع السفلى والساعد العلوى. منظر أمام ى. هذه الأوردة البارزة والمتاحة، وخاصة الوريد البازيليك والوريد الكعبرى ا لمتوسط، تُستخدم عادةً لسحب عينات الدم وإعطاء السوائل الوريدية والنقلات الدموية، وكذلك لقسطرة القلب.

Funix/iStock/Getty Images

3. زوج من الأوردة الزندية تنشأ من الجانب الوسيط لأقواس راحة اليد وتمتد صعودًا على طول الساعد بجانب الزند. تتحدان بالقرب من المرفق لتشكيل الوريد العضدى الآخر.

4. تستمر الأوردة العضدية الاثنتان صعودًا فى العضد، محاذيتى ن للشريان العضدى، وتتقاربان لتشكيل وريد واحد قبل منطقة الإبط مباشرة.

5. الوريد الإبطى يتكون من اتحاد الأوردة العضدية والوريد الباز يليك. يبدأ عند الحافة السفلية لعضلة التيرس الكبرى ويمر عبر م نطقة الإبط، ملتقطًا الوريد السِفلى على طول الطريق. عند الح افة الجانبية للضلع الأول، يتغير اسمه إلى الوريد تحت الترقوى.

6. الوريد تحت الترقوى يستمر إلى الكتف خلف الترقوة وينتهى حيث يلتقى بالوريد الوداجى الداخلى للرقبة. هناك يصبح الور يد العضدى الرأسى الذى تم وصفه سابقًا. الوريدان العضديان ا لرأسيان الأيمن والأيسر يلتقيان ويشكلان الوريد الأجوف العلو ى، الذى يصب فى الأذين الأيمن للقلب.

20.8ح شرايين الطرف السفلى

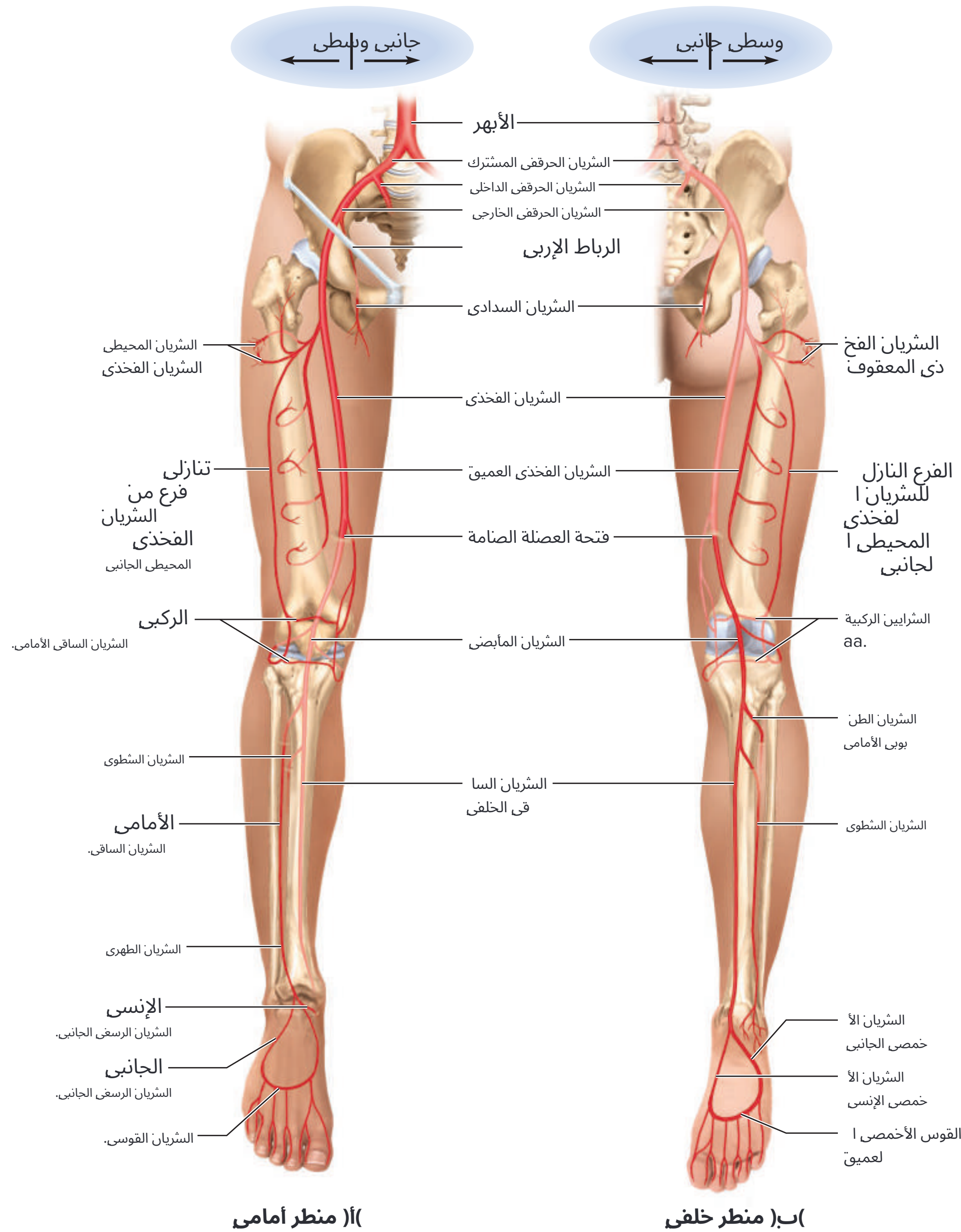
كما رأينا سابقًا، يتفرع الأبهر فى نهايته السفلية إلى الشريان الحرقفى ا لمشترك الأيمن والأيسر، وكل منهما ينقسم قريبًا إلى شريان حرقفى داخلى وخارجى. تتبعنا الشريان الحرقفى الداخلى فى القسم 20.7و، وا لآن نتتبع الشريان الحرقفى الخارجى حيث يزود الطرف السفلى)الش كلان 20.43، 20.44(.

الشرايين من منطقة الحوض إلى الركبة

1. الشريان الحرقفى الخارجى يصدر فروعًا صغيرة إلى جلد وعضلا ت جدار البطن والحوض، ثم يمر عميقًا تحت الرباط الأربى وى صبح الشريان الفخذى.

---

27 genic= للركبة



الشكل 20.43 شرايين الطرف السفلى.)أ(ال شرايين الرئيسية فى العرض الأمامى، مع ثنى القد م بشكل قوى نحو الأسفل بحيث تواجه السطح العلوى)الظهرى(المشاهد.)ب(الشرايين الرئيسية فى العر ض الخلفى، مع مواجهة باطن القدم للمشاهد.

APR

1. القوس الوريدى الظهرى)الشكل 20.45أ(غالبًا ما يكون مرئيًا من خلال الجلد على الجانب الظهرى)الأعلى(للقدم. يجم ع الدم من أصابع القدم والجزء الأقرب من القدم، وله العديد م ن التشابكات المشابهة لشبكة الأوردة الظهرية لليد. وينشأ م نه ما يلى:
2. الوريد الصافن الصغير)القصير( )sah-FEE-nus(ينشأ من الجان ب الجانبى للقوس ويمر صعودًا على ذلك الجانب من الساق حتى الركبة. هناك، يصب فى الوريد المأبضى.

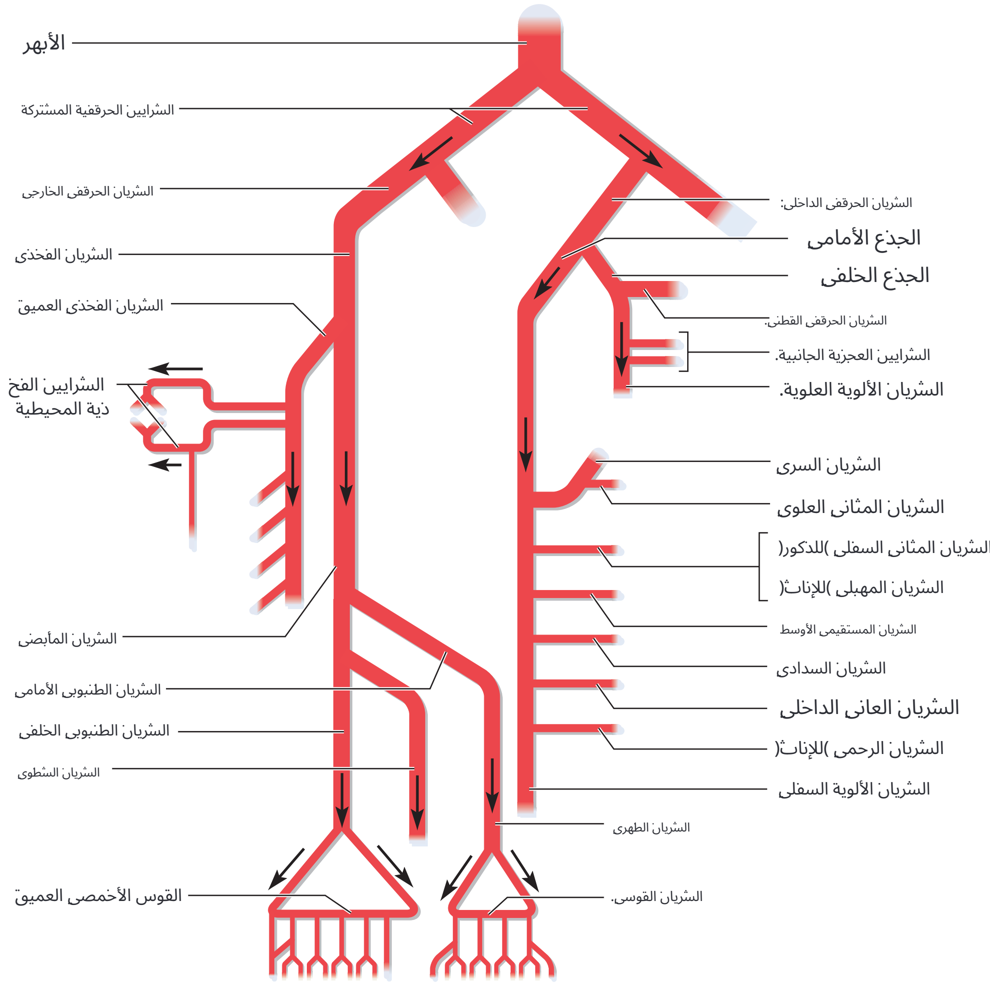
الصّافن = واقف

20.8د أوردة الطرف السفلى

سنتتبع تصريف الأوردة للطرف السفلى من أصابع القدم إلى الوريد الأ جوف السفلى)الشكلان 20.45، 20.46(. كما فى الطرف العلوى، هنا ك أوردة عميقة وسطحية مع تشابكات بينها. معظم التشابكات تم حذ فها من الرسوم التوضيحية.

الأوردة السطحية

تقع الأوردة السطحية للفخذ والساق فى النسيج تحت الجلد؛ لذلك، فهى غالبًا ما تكون مرئية من خلال الجلد ومتاحة بسهولة نسبية لأغرا ض مثل العلاج بالسوائل عبر الوريد. وهى عرضة بشكل خاص لأن ت صبح أوردة دوالى)انظر الشكل 20.10(.



الشكل 20.44 مخطط شريانى لمنطقة الحوض وا لطرف السفلى)منظر أمامى(. المخطط الحوض ى على اليمين ممدود لتوضيح أفضل. هذه ال شرايين ليست موجودة فى مواضع منخفضة كما هو موضح فى الشرايين المجاورة لها على ا ليسار.

الوريدين *الشظويين*، ثم يعبر إلى الجانب الإنسى ويقترب من الوريد الأخمصى الإنسى)ولكن لا ينضم إليه(. يمر الوريدان الأخمصيان خلف الكعب الإنسى للكاحل ويستمرا ن كزوج من الأوردة الظنبوبية الخلفية *المتوازية*.

2. يمر الوريدان الظنبوبيان الخلفيان صعودًا فى الساق مغمورين عميقًا فى عضلات الساق. يلتقيان مثل حرف Y مقلوب فى وريد واحد على بعد ثلثى الطريق تقريبًا صعودًا على الظنبوب.

3. الصُّعُدَان الوريدان الشظويان)الظنبوبيان(يصعدان فى الجزء الخلفى من الساق ويتقاربان بطريقة مشابهة على شكل Y مقلوبة.

4. الوريد المأبضى يبدأ بالقرب من الركبة بتقارب هذين Y. يم ر عبر الحفرة المأبضية فى خلف الركبة.

5. الوريدان الظنبوبيان الأماميان يمران فى القسم الأمامى م ن الساق بين الظنبوب والشظية)الشكل 20.45أ(. ينشآن من الجانب الإنسى لقوس الأوردة الظهرية، ويتقار بان مباشرة أسفل الركبة، ثم يتدفقان إلى الوريد المأبضى.

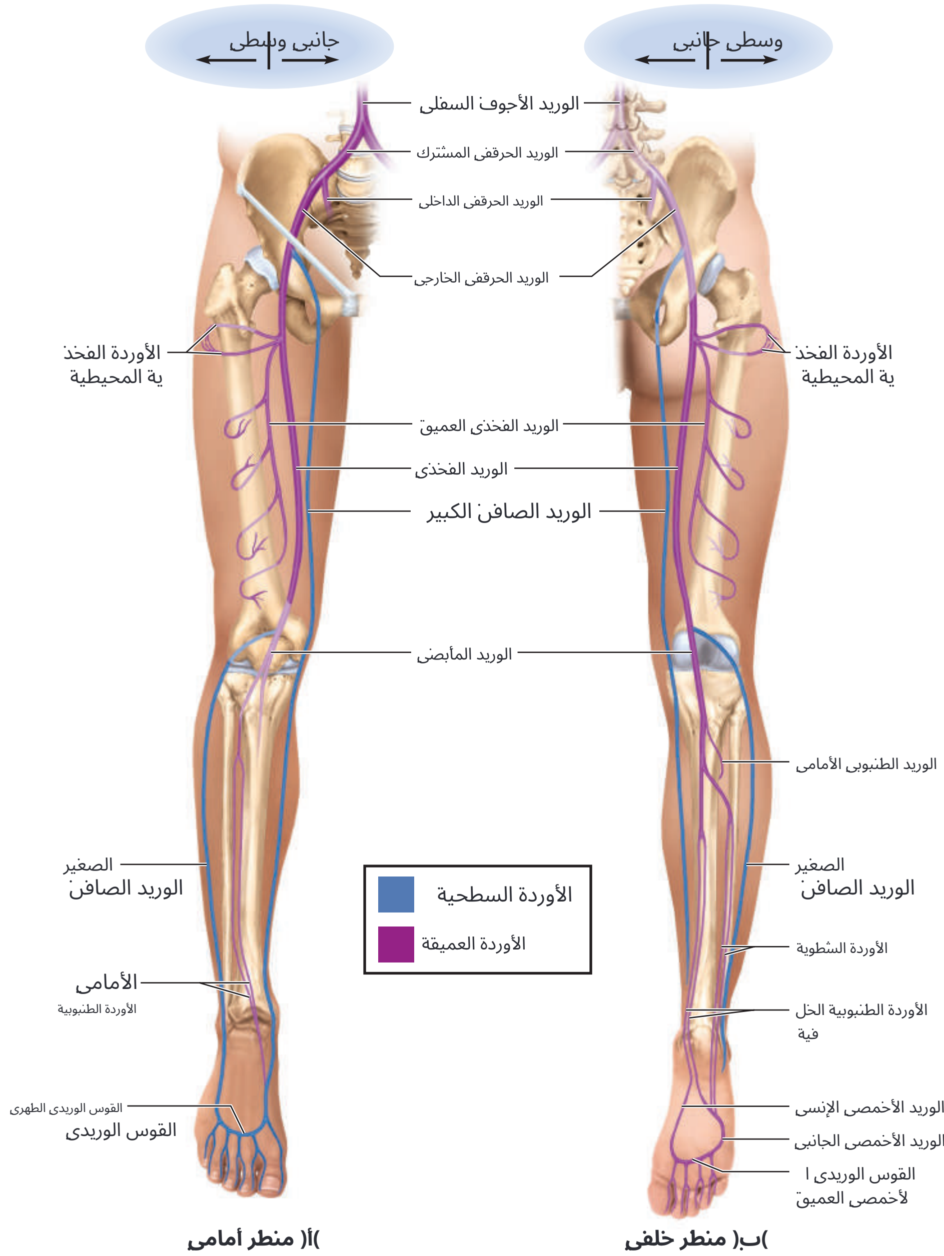
6. الوريد الفخذى هو استمرار للوريد المأبضى إلى الفخذ. يصرف الدم من عضلات الفخذ العميقة وعظم الفخذ.

3. الوريد الصّافن الكبير)الطويل(، أطول وريد فى الجسم، ينشأ من الجانب الإنسى للقوس ويمتد طول الساق والفخذ حتى منطقة الأربية. يفرغ فى الوريد الفخذى أسفل قليلاً من الرباط الأربى. يُس تخدم عادة كموقع وصول لإعطاء السوائل الوريدية على المدى الطويل ولقسطرة القلب. هو وريد سهل الوصول إليه نسبيًا ع ند الرضع والمرضى فى حالة صدمة حيث تنهار الأوردة. تُستخدم أجزاء من هذا الوريد عادة كطعوم فى جراحة تحويل مسار ال شريان التاجى. الوريدان الصّافن الكبير والصّافن الصغير من أ كثر المواقع شيوعًا لدوالى الأوردة.

الأوردة العميقة

الأوردة العميقة فى الطرف السفلى ترافق الشرايين العميقة. بعض منها يعكس الترتيب الموجود فى الطرف الأمامى، مع وجود أوردة مزدوجة تحيط بالشريان المقابل)مثل الوريدين *الخلفيين الظنبوبيين* اللذين يمران بجانب *الشريان الظنبوبى الخلفى*.(

1. القوس الوريدى الأخمصى العميق يستقبل الدم من الأصابع ويُعطى الوريدين الأخمصى الجانبى و الأخمصى الإنسى على الجانبين المقابلين للقدم. الوريد الأخمصى الجانبى يعطى



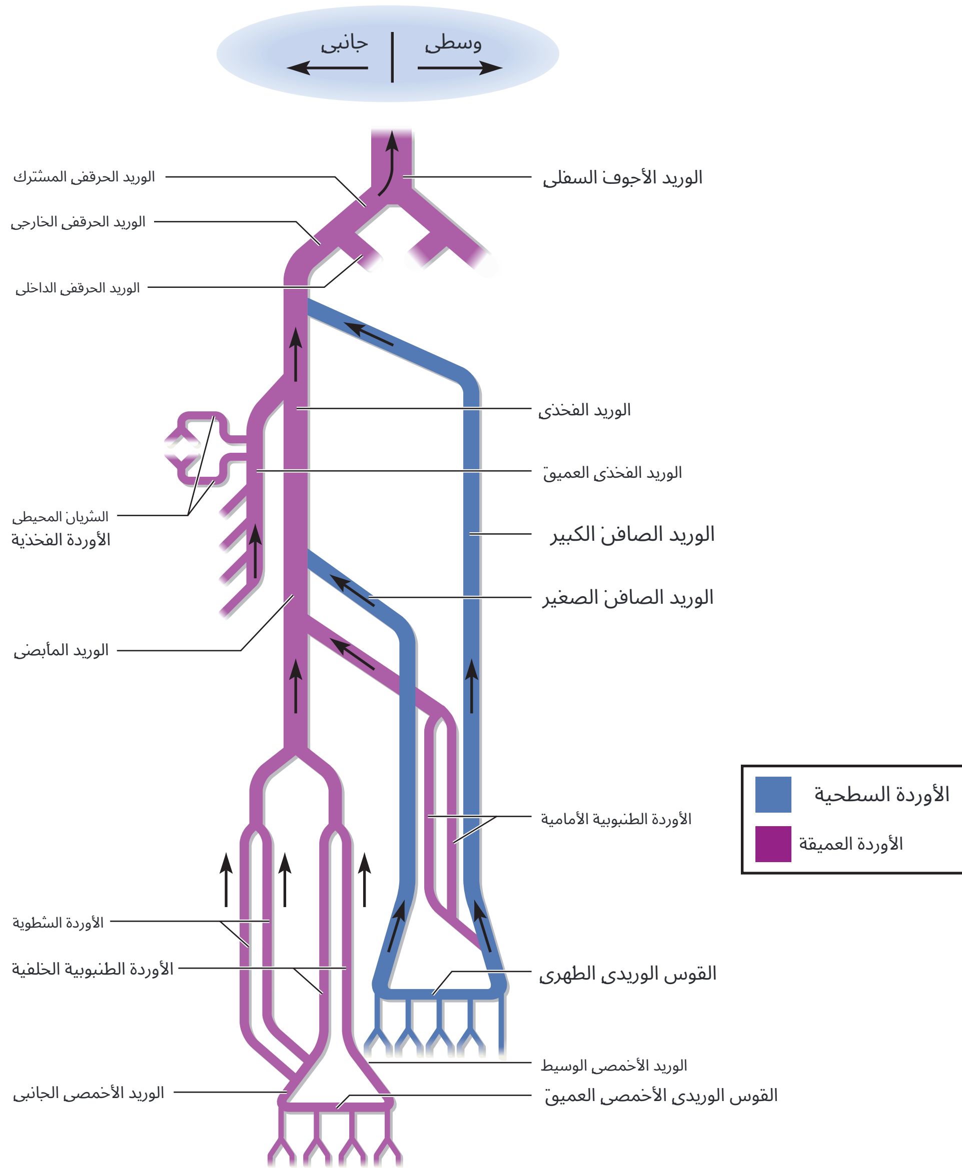
الشكل 20.45 أوردة الطرف السفلى.
)أ(الأوردة الرئيسية فى العرض الأمامى، مع ثنى ا لقدم بقوة نحو الأخمص بحيث يواجه السطح العلوى)ا لظهرى(المشاهد.)ب(الأوردة الرئيسية فى العرض ا لخلفى، مع مواجهة باطن القدم للمشاهد.
APR

7. الوريد الفخذى العميق يصرف الدم من عظم الفخذ وعضلات ال فخذ التى يغذيها الشريان الفخذى العميق. يستقبل فروعًا على طول عمود عظم الفخذ، ثم زوجًا من الأوردة الفخذية الدائرية ال تى تحيط بالجزء العلوى من عظم الفخذ. وأخيرًا يصرف الدم إلى الوريد الفخذى العلوى.
8. الوريد الحرقفى الخارجى يتكون من اتحاد الوريد الفخذى والور يد الصافن الكبير بالقرب من الرباط الإربى.
9. الوريد الحرقفى الداخلى يتبع مسار الشريان الحرقفى الداخلى وتوزيعه. تصب روافده فى عضلات الأرداف؛ الجانب الو سيط من الفخذ؛ المثانة البولية، المستقيم، البروستاتا، وقناة ا لقذف لدى الذكر؛ والرحم والمهبل لدى الأنثى.
10. الوريد الحرقفى المشترك يتكون من اتحاد الأوردة الحرقف ية الخارجية والداخلية. الوريدان الحرقفيان الأيمن والأيسر

الحرقفيان المشتركان يتحدان لتشكيل الوريد الأجوف الس فلى.

▶▶▶ طبق ما تعرفه
هناك تشابهات معينة بين شرايين اليد والقدم. ما هى الشرايين فى الرسغ واليد التى يمكن مقارنتها فى الترتيب والوظيفة مع ال شريان القوسى والقوس الأخمصى العميق فى القدم؟

يوضح التعمق 20.5 أهمية تشريح الأوعية الدموية فى الإسعافا ت الأولية الطارئة. أكثر أمراض القلب والأوعية الدموية شيوعًا هى ت صلب الشرايين وارتفاع ضغط الدم. الجدول 20.2 يوفر روابط لمزيد م ن المعلومات حول هذه الأمراض وأمراض وعائية أخرى متعددة. يتم م ناقشة تأثيرات الشيخوخة على الأوعية الدموية فى الفصل 29.



الشكل 20.46 مخطط وريدى للطرف السفلى)منظر أمامى(.

الجدول 20.2	بعض اضطرابات الأوعية الدموية
تشوه شريانى وريدى)AVM(	تشابك غير منتظم للأوعية الدموية، غالبًا فى الدماغ، يربط الشرايين بالأوردة. يُعطل تشوه الدماغ الشريانى الوريدى التدفق الدموى الطبيعى، ويحرم نسيج الدماغ من الأكسجين، وقد يضعف وينفجر، مما يسبب السكتة الدماغية. غالبًا ما تتطلب هذه التشوهات جراحة الأعصاب.
تجلط الأوردة العميقة)DVT(	تجلط الدم فى الأوردة العميقة، عادة فى الفخذ أو الساق، غالبًا نتيجة لقلة الحركة كما فى المرضى المقعدين أو خلال الرحلات الجوية الطويلة. السبب الرئيسى للانصمام الرئوى—انفصال الجلطات فى الطرف وسفرها عبر القلب إلى الشرايين الرئوية.
انصمام دهنى	وجود كريات دهنية تسافر فى مجرى الدم. تنشأ هذه الكريات من كسور العظام، التنكس الدهنى للكبد، وأسباب أخرى، وقد تسد الأوعية الدموية الدماغية أو الرئوية.
مرض الشرايين الطرفية	تصلب الشرايين فى الأطراف السفلية يسبب ضعف الدورة الدموية إلى القدمين والساقين. قد يسبب ألمًا، تشنجات عضلية ناتجة عن التمرين)عرج(، زرقة، تقرحات، أو غنغرينا.

يمكنك العثور على اضطرابات وعائية أخرى موصوفة فى الأماكن التالية:

الجلطة الدموية والانسداد الخثارى فى القسم 18.5f؛ الانصمام الهوائى فى التعمق 20.3؛ تصلب الشرايين وتصلب الشرايين فى التعمق 19.4 والقسم 20.2a؛ تمدد الأوعية الدموية فى التعمق 20.1؛ ارتفاع ضغط الدم وانخفاض ضغط الدم فى القسم 20.2a والتعمق 20.6؛ الدوالى فى التعمق 20.2؛ الصدمة الدموية فى القسم 20.4c؛ النوبة الإقفارية العابرة)TIA(والسكتة الدماغية فى القسم 20.5a؛ و الوذمة فى القسم 20.3d.

التعمق 20.5

تطبيق سريرى

نقاط ضغط الشرايين

فى بعض الأماكن، تقترب الشرايين الرئيسية بما يكفى من سطح الجسم ليتم ال شعور بها. يمكن استخدام هذه الأماكن لأخذ النبض، ويمكن أن تكون نقاط ضغط طارئة، حيث يمكن تطبيق ضغط قوى لتقليل النزيف الشريانى مؤقتًا)الشكل 20 .47أ(. واحدة من هذه النقاط هى مثلث الفخذ فى الجزء العلوى من الفخذ الداخلى)الشكل 20.47ب، ج(. هذه نقطة مرجعية مهمة لإمداد الشرايين، تصريف الأوردة، وتعصيب الطرف السفلى. حدودها هى عضلة السارتوريوس من الجانب الخارجى، الرباط الإربى من الأعلى، و عضلة الأدوكتور لونغوس من الجانب الداخلى. الشريان الفخذى، الوريد، والعصب تمر بالقرب من السطح عند هذه النقطة.

الشكل 20.47 نقاط ضغط الشرايين.)أ(المناطق التى تقع فيها الشرايين قريبة بما يكفى من السطح بحيث يمكن الشعور بالنبض أو يمكن تطبيق الضغ ط لتقليل النزيف الشريانى.)ب(الهياكل فى مثلث الفخذ.)ج(الحدود الثلاثة التى تحدد مثلث الفخذ.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

30. تتبع مسارًا ممكنًا لخلايا الدم الحمراء من البطين الأيسر إلى أصا بع القدم.

31. تتبع مسارًا ممكنًا لخلايا الدم الحمراء من الأصابع إلى الأذين الأيم ن.

32. الشرايين تحت الترقوة والإبطية والعضدية هى فى الواقع شريان واح د مستمر. ما هو السبب فى إعطائه ثلاثة أسماء مختلفة على طول م ساره؟

33. اذكر طريقتين يكون فيهما الوريد الصافن الكبير ذو أهمية سرير ية خاصة. أين يقع هذا الوريد؟

طبق ما تعرفه

من المناقشة السابقة عن الشرايين والأوردة فى الأطراف، حدد شريانًا أو وريدًا ذا صلة خاصة بكل من التطبيقات السريرية التالية :

)1(الشريان الذى يُقاس منه ضغط الدم عادةً؛)2(الشريان الذى يُؤخذ منه نبض المريض فى أغلب الأحيان؛)3(وعاء دموى يجب الضغط عليه لإيقاف النزيف الشريانى الناتج عن جرح فى الفخذ؛)4(أوردة الأطراف العلوية والسفلية التى يُعطى فيها السوائل عن طريق الوريد غالبًا؛)5(وريد يُؤخذ منه عينات الدم بشكل شائع؛ و)6(وريد يمكن إزالة جزء منه واستخدامه فى ترقيع مجازة الشريان التاجى.



نظرة أعمق 20.6

تطبيق سريرى

ارتفاع ضغط الدم—"القاتل الصامت"

ارتفاع ضغط الدم، أكثر أمراض القلب والأوعية الدموية شيوعًا، يؤثر على حوالى 30 % من الأمريكيين فوق سن 50، و50% بحلول سن 74. إنه "قاتل صامت" يمكن أ ن يسبب أضراره المدمرة لمدة 10 إلى 20 سنة قبل أن تظهر الأعراض لأول مرة. ا رتفاع ضغط الدم هو السبب الرئيسى لفشل القلب، والسكتة الدماغية، وفشل ال كلى. يضر القلب لأنه يزيد من الحمل اللاحق، مما يجعل البطينين يعملان بجهد أ كبر لطرد الدم. يتضخم عضلة القلب حتى نقطة معينة)الاستجابة التضخمية(، لكنه فى النهاية يصبح مفرط التمدد وأقل كفاءة. يجهد ارتفاع ضغط الدم الأوعية الدمو ية ويمزق البطانة الداخلية، مما يخلق آفات تصبح نقاط تركيز لتصلب الشرايين. ثم يؤدى تصلب الشرايين إلى تفاقم ارتفاع ضغط الدم ويؤسس دورة تغذية راجعة إيجابية خبيثة.

دورة تغذية راجعة إيجابية أخرى تشمل الكليتين. تتكاثف الشرايين الصغيرة ا ستجابةً للإجهاد، وتضيق فتحاتها، وينخفض تدفق الدم الكلوى. استجابةً لانخفاض ضغط الدم الناتج، تفرز الكليتان الرينين، مما يؤدى إلى تكوين مضيق الأوعية أنج يوتنسين II وإفراز الألدوستيرون، وهو هرمون يعزز احتباس الملح)انظر "الية الرين ين-أنجيوتنسين-ألدوستيرون" فى القسم 23.3د(. هذه التأثيرات تزيد من سوء ار تفاع ضغط الدم الموجود بالفعل.

إذا تجاوز ضغط الدم الانبساطى 120 ملم زئبق، فقد تتدهور الكليتان والقلب بسر عة، وتنزف أوعية العين الدموية، وقد يحدث العمى، وبدون علاج، عادةً ما يتبع ذل ك الوفاة خلال عامين.

ارتفاع ضغط الدم الأساسى، الذى يشكل 90% من الحالات، ينتج عن شبكة مع قدة من العوامل السلوكية والوراثية وغيرها بحيث يصعب تحديد سبب محدد. كا ن يُعتبر سابقًا جزءًا طبيعيًا من "جوهر" الشيخوخة، ولا يزال يُطلق عليه اسمًا آخر، ارتفاع ضغط الدم الأساسى. هذا المصطلح يوحى بالاستسلام القاتل لارتفاع ضغط الدم كحقيقة من حقائق الحياة، لكن هذا ليس ضروريًا. تم تحديد العديد من عوام ل الخطر، ومعظمها يمكن التحكم فيه.

أحد المذنبين الرئيسيين هو السمنة. كل رطل من الدهون الزائدة يتطلب أميالًا إضافية من الأوعية الدموية لخدمته، وكل هذا الطول الإضافى للأوعية يزيد المقاو مة المحيطية وضغط الدم. بالطبع، مجرد حمل وزن زائد يزيد أيضًا من عبء العمل على القلب. حتى فقدان وزن صغير يمكن أن يقلل ضغط الدم بشكل كبير.

السلوك الخامل هو عامل خطر آخر. تساعد التمارين الهوائية على تقليل ارتفاع ضغ ط الدم من خلال التحكم فى الوزن، وتقليل التوتر العاطفى، وتحفيز توسع الأوعية ا لدموية.

العوامل الغذائية تُعد أيضًا من المساهمين المهمين فى ارتفاع ضغط الدم. الأ نظمة الغذائية الغنية بالدهون المشبعة تُسهم فى تصلب الشرايين. البوتاسيوم وا لمغنيسيوم يقللان من ضغط الدم؛ لذلك فإن الأنظمة الغذائية التى تفتقر إلى هذه المعادن تعزز ارتفاع ضغط الدم. العلاقة بين تناول الملح وارتفاع ضغط الدم كانت موضوعًا مثيرًا للجدل. الكلى تعوض بشكل فعال عن تناول الملح الزائد بحيث يكو ن للملح الغذائى تأثير ضئيل على ضغط دم معظم الناس. ومع ذلك، قد يساعد تق ليل تناول الملح فى السيطرة على ارتفاع ضغط الدم لدى كبار السن والأشخاص ال ذين يعانون من ضعف فى وظائف الكلى.

النيكوتين يُسهم بشكل مدمر بشكل خاص فى ارتفاع ضغط الدم لأنه يحفز ع ضلة القلب على النبض بشكل أسرع وأقوى، بينما يحفز تضيق الأوعية الدموية ويز يد من المقاومة التى يجب على عضلة القلب العمل ضدها. فى الوقت الذى يحتا ج فيه القلب إلى المزيد من الأكسجين، يسبب النيكوتين تضيق الشرايين التاجية ويعزز نقص التروية القلبية.

بعض عوامل الخطر لا يمكن تغييرها بإرادة الإنسان — مثل الأصل، الوراثة، وا لجنس. ارتفاع ضغط الدم ينتشر فى بعض العائلات. الشخص الذى لديه والدين أو أشقاء يعانون من ارتفاع ضغط الدم يكون أكثر عرضة من المتوسط للإصابة به. معدل انتشار ارتفاع ضغط الدم أعلى بحوالى 30%، ومعدل حدوث السكتات الدما غية أعلى بحوالى الضعف، بين الأمريكيين السود من أصول غرب أفريقية مقارنة بالأمريكيين البيض من أصول أوروبية. من عمر 18 إلى 54 عامًا، يكون ارتفاع ضغ ط الدم أكثر شيوعًا بين الرجال، ولكن بعد عمر 65 عامًا، يصبح أكثر شيوعًا بين الن ساء. ومع ذلك، يمكن للأشخاص المعرضين لهذه العوامل تقليل فرص إصابتهم بارتفاع ضغط الدم من خلال تغيير السلوكيات الخطرة.

تشمل علاجات ارتفاع ضغط الدم الأساسى فقدان الوزن، النظام الغذائى، وبع ض الأدوية. المدرات البولية تقلل حجم الدم وضغطه عن طريق تعزيز التبول. مثب طات ACE تمنع تكوين الأنجيوتنسين II، وهو مادة مسببة لتضيق الأوعية. حاصرا ت بيتا مثل البروبرانولول تقلل أيضًا من مستوى الأنجيوتنسين II ولكن عن طريق تثبيط إفراز الرينين. حاصرات قنوات الكالسيوم مثل فيراباميل ونيفيديبين تمنع تدفق الكالسيوم إلى العضلات القلبية والملساء، مما يثبط انقباضها، ويعزز توسع ا لأوعية، ويقلل من عبء العمل على القلب.

ارتفاع ضغط الدم الثانوى، الذى يشكل حوالى 10% من الحالات، هو ارتفاع ض غط الدم الناتج عن اضطرابات أخرى يمكن تحديدها.

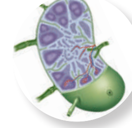
تشمل هذه أمراض الكلى)التى قد تسبب فرط إفراز الرينين(، تصلب الشرايين، فرط نشاط الغدة الدرقية، متلازمة كوشينغ، وتعدد كريات الدم الحمر. يتم تصحيح ا رتفاع ضغط الدم الثانوى بمعالجة المرض الأساسى.

اتصالات النظام



تأثيرات الجهاز الدورى
على أنظمة الأعضاء الأخرى

جميع الأنظمة
ينقل الدم الأكسجين إلى جميع الأنسجة والأعضاء ويزيل ثانى أكسيد الكربون والنفايات الأخرى منها، ويوزع المغذيات والهرمونات فى جميع أنحاء الجسم، ويحمل الح
رارة من الأعضاء العميقة إلى سطح الجسم للتخلص منها.



الجهاز اللمفاوى والمناعى
تنتج الأوعية الدموية سائل النسيج،
الذى يتحول إلى اللمف؛ يحتوى الدم
على كريات الدم البيضاء وبروتينات البلازما
المستخدمة فى المناعة.



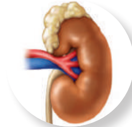
الجهاز الجلدى
تؤثر تدفقات الدم فى الجلد بشك
ل كبير على درجة حرارة ا
لجسم العامة.



الجهاز التنفسى
يلتقط الدم الأكسجين O_2 من الر
ئتين ويطلق ثاني أكسيد الكربو
ن CO_2 ليتم زفيره؛ ضغط الد
م الشعيرى المنخفض وضغط ا
لدم الأونكوتى يمنعان الحويصلات
من الامتلاء بالسائل.



الجهاز الهيكلى
ينقل الدم المعادن ا
للازمة لترسيب العظام
؛ وينقل الهرمونات التى تنظ
م نمو الهيكل العظمى؛ وى
نقل الهرمونات إلى نخا
ع العظم التى تحفز إنتاج
كريات الدم الحمراء وال
بيضاء والصفائح الدموية.



الجهاز البولى
يبدأ إنتاج البول بعملية
ترشيح الدم؛ يحمل الدم
الماء والذائبات التى تم
إعادة امتصاصها بواسطة الكلى؛
يحافظ ضغط الدم على وظيفة
الكلى.



الجهاز العضلى
يزيل الدم الحرارة الناتجة ع
ن التمارين.



الجهاز الهضمى
يلتقط الدم العناصر الغذائية
الماصة ويساعد فى إعادة الامتصاص
وإعادة تدوير أملاح الصفراء والمعادن
من الأمعاء.



الجهاز العصبى
تحافظ خلايا البطانة للأوعية الدمو
ية على الحاجز الدموى الدماغى
وتلعب دورًا فى إنتاج السائل الدما
غى الشوكى.



الجهاز التناسلى
ينقل الدم الهرمونات
التى تؤثر على الوظيفة التناسلية؛
التوسع الوعائى ينتج الانتصاب
فى الاستجابة الجنسية؛ يوفر الدم
المغذيات والأكسجين
والاحتياجات الأيضية الأخرى للجنين
ويزيل نفاياته.



الجهاز الصمائى
الدم هو الوسط الذى تنتقل فيه جميع
الهرمونات إلى أعضائها
المستهدفة.

دليل الدراسة

قيّم نتائج تعلمك

لاختبار معرفتك، ناقش المواضيع التالية مع شريك دراسة أو كتابة، ويفضل من الذاكرة.

20.1 التشريح العام للأوعية الدموية

1. تعريفات الشرايين، الأوردة، والشعيرات الدموية بالنسبة لمسار تدفق الدم
2. طبقات الشريان أو الوريد، والاختلافات الأنسجة العامة بينها
3. هيكل ووظائف البطانة الداخلية
4. موقع ووظيفة الأوعية الدموية للأوعية (vasa vasorum)
5. ثلاث فئات من الشرايين حسب الحجم؛ كيف ولماذا تختلف ليس فقط في القطر، بل أيضًا من الناحية النسيجية
6. علاقة الشرايين الدقيقة (الميتارتيول) بسرير الشعيرات الدموية، ووظيفة المصاريع قبل الشعيرية في الشريان الدقيق
7. موقع وبنية ووظيفة الجيوب السباتية، والأجسام السباتية، والأجسام الأبهرية
8. النسيجية لأنواع الشعيرات الدموية الثلاثة وكيف ترتبط بوظائفها
9. تنظيم سرير الشعيرات الدموية وكيف يتم تنظيم تدفق الدم فيه
10. لماذا تُسمى الأوردة أوعية السعة وكيف يرتبط ذلك بالاختلاف الهيكلي بين الأوردة والشرايين
11. ما تشترك فيه الشعيرات الدموية والأوردة الصغيرة بعد الشعيرية من حيث تبادل السوائل
12. الاختلافات الهيكلية بين الأوردة العضلية، والأوردة المتوسطة، والأوردة الكبيرة
13. بنية ووظيفة صمامات الأوردة، وأماكن وجودها، والسبب في وجود صمامات في بعض الأوردة وعدم وجودها في الشرايين ذات الحجم المقابل
14. كيف تختلف الجيوب الوريدية عن الأوردة الأخرى، وأين تحدث
15. كيف تختلف الأنظمة البابية والتشابكات عن مسارات تدفق الدم الأبسط؛ أنواع التشابكات وأغراضها

20.2 ضغط الدم، المقاومة، والتدفق

1. الفرق بين تدفق الدم والتروية الدموية
2. كيف يرتبط تدفق الدم بالمقاومة وفروق الضغط؛ التعبير الرياضي لهذه العلاقات
3. كيفية تحديد ضغط الانقباض، ضغط الانبساط، وضغط النبض؛ كيفية تقدير متوسط ضغط الشريان (MAP)، ولماذا يختلف MAP من الرأس إلى القدم
4. معاني *ارتفاع ضغط الدم* و *انخفاض ضغط الدم*
5. لماذا يقل توسع الشرايين وانقباضها خلال دورة القلب من ضغط النبض ويخفف العبء على الشرايين الصغيرة
6. لماذا يكون تدفق الدم في الشرايين نابضًا بينما لا يكون في الشعيرات الدموية والأوردة
7. لماذا يرتفع ضغط الدم مع التقدم في العمر
8. المتغيرات التي تحدد ضغط الدم
9. المتغيرات التي تحدد المقاومة المحيطية؛ ما إذا كان كل منها يتناسب طرديًا أو عكسيًا مع المقاومة؛ وأيها الأكثر تغيرًا من لحظة لأخرى
10. المصطلحات الخاصة بتوسيع وتضييق الأوعية الدموية عن طريق انقباض واسترخاء العضلات
11. العلاقة الرياضية بين المقاومة المحيطة ونصف قطر الوعاء الدموي؛ ولماذا يرتبط هذا بتدفق الدم الطبقي (اللاميناري)؛ ولماذا يجعل هذا الانعكاسات الوعائية تأثيرًا قويًا على تدفق الدم
12. لماذا تنخفض سرعة الدم من الشريان الأبهر إلى الشعيرات الدموية وترتفع مرة أخرى من الشعيرات إلى الأوردة، لكنها لا ترتفع في الأوردة إلى نفس المستوى الذي كانت عليه في الأبهر
13. لماذا تمارس الشرايين الصغيرة تأثيرًا أكبر من أي فئة أخرى من الأوعية الدموية على تروية الأنسجة
14. ثلاثة مستويات من السيطرة على ضغط الدم وتدفقه
15. آليات التحكم المحلية قصيرة وطويلة الأمد في تدفق الدم؛ أمثلة على المواد الكيميائية الوعائية وكيف يمكنها التسبب في فرط التروية التفاعلي
16. تكوين الأوعية الدموية وأهميته في علاج السرطان
17. دور مركز التحكم الوعائي في النخاع المستطيل في تنظيم تدفق الدم؛ الانعكاسات الضغطية، الانعكاسات الكيميائية، وانعكاس نقص التروية النخاعي
18. آليات عمل الأنجيوتنسين II، الألدوستيرون، الببتيدات المدرّة للصوديوم، هرمون مضاد الإدرار، الإبينفرين، والنورإبينفرين على ضغط الدم
19. كيف يمكن للحركة الوعائية أن تغير ضغط الدم في النظام بأكمله أو تعيد توجيه تدفق الدم من منطقة إلى أخرى؛ الظروف التي تستدعي إعادة توجيه تدفق الدم

20.3 الشعيرات الدموية وتبادل السوائل

1. معنى *تبادل الشعيرات الدموية* والمواد المشاركة في العملية
2. ثلاثة مسارات وأربعة آليات تمر من خلالها المواد عبر جدران الشعيرات الدموية
3. المواد التي يتم تبادلها عن طريق الانتشار البسيط؛ العوامل التي تحدد ما إذا كانت المادة يمكن أن تنتشر عبر جدار الشعيرة الدموية
4. النقل الخلوي عبر الشعيرات الدموية وبعض المواد التي يتم تبادلها بهذه الطريقة
5. في ترشيح الشعيرات الدموية، ثلاث قوى تسحب السوائل خارج الشعيرات الدموية وقوة واحدة تسحب السوائل إلى داخلها
6. القيم والتأثيرات الصافية لقوى تبادل الشعيرات الدموية عند الطرف الشرياني والطرف الوريدي للشعيرة الدموية، وكيف تمكن الشعيرة من إفراز السوائل عند أحد الطرفين وامتصاصها عند الطرف الآخر
7. الكميات النسبية للسوائل التي تُفرز وتُعاد امتصاصها بواسطة نموذج شعيري، وما يعوض الفرق بين الترشيح والامتصاص
8. دور السحب المذيب في تبادل الشعيرات الدموية
9. لماذا يمكن أن تتغير ديناميكيات امتصاص الشعيرات الدموية من لحظة لأخرى أو تختلف في أماكن مختلفة في الجسم؛ أمثلة على أماكن تكون فيها الشعيرات الدموية منخرطة بالكامل في الترشيح الصافي أو الامتصاص
10. المواد الكيميائية التي تؤثر على نفاذية الشعيرات الدموية والترشيح
11. ثلاثة أسباب للوذمة، وعواقبها المرضية

20.4 العائد الوريدي والصدمة الدموية

1. تعريف *العائد الوريدي* وخمسة آليات تدفعه
2. كيف يعمل مضخة العضلات الهيكلية ولماذا تعتمد على صمامات الأوردة
3. لماذا يزيد التمرين من العائد الوريدي
4. لماذا يمكن أن يؤدي الخمول البدني إلى تجمع الدم الوريدي؛ عواقب تجمع الدم الوريدي
5. تعريف *الصدمة الدموية*
6. فئتان أساسيتان من الصدمة الدموية، ثلاثة أشكال من صدمة انخفاض العائد الوريدي (LVR)، والحالات التي قد تحدث فيها كل شكل من أشكال الصدمة
7. لماذا لا يمكن تصنيف الصدمة الإنتانية والصدمة التأقية بدقة ضمن أي فئة واحدة من صدمات انخفاض حجم الدم (LVR)
8. الاختلافات بين الصدمة المعوضة والصدمة غير المعوضة

20.5 المسارات الدموية الخاصة

1. قيمة نموذجية لتدفق الدم الدماغي ولماذا ثباته مهم

دليل دراسة

2. كيف ينظم الدماغ تدفق دمه وما هو المنبه ا لكيميائى الأقوى فى تفعيل آلياته التنظيمية
3. الأسباب، الآثار، والفرق بين النوبة الإقفارية العا برة (TIA) والسكتة الدماغية (حادث الأوعية الد موية الدماغية)
4. تفاوت تدفق الدم إلى العضلات الهيكلية؛ ما هى المحفزات التى تزيد من التدفق لتلبية متطلبات التمرين؛ ولماذا يسبب الانقبا ض المتساوى التوتر التعب أسرع من الانقبا ض المتساوى الطول
5. كيف يختلف الدورة الدموية الرئوية عن الدو رة الدموية الجهازية فيما يتعلق بضغط الدم، وتبادل الشعيرات الدموية، والتشبع النسبى بالأكسجين فى الدم الشريانى والوريدى، والا ستجابة الوعائية لنقص الأكسجة

20.6 تشريح الدورة الدموية الرئوية

1. مسار تدفق الدم فى الدورة الدموية الرئوية
2. مكان وجود شعيرات الدورة الدموية الرئوية وا لوظيفة التى تؤديها
3. كيف تختلف وظيفة الدورة الدموية الرئوية ع ن وظيفة الشرايين القصبية التى تزود الرئ تين أيضًا

20.7 الأوعية الدموية الجهازية فى المنطقة المحورية

1. بالنسبة لجميع الأوعية الدموية المسماة فى هذا المخطط، موقعها التشريحى؛ الوعاء الذ ى تنشأ منه؛ المسار الذى تتبعه؛ والأعضاء أو م ناطق الجسم أو الأوعية الدموية الأخرى التى تزو دها
2. الشريان الأبهر الصاعد، قوس الأبهر، والشر يان الأبهر النازل، وأجزاء الصدرية والبطنية من الشريان الأبهر النازل (القسم 20.7أ)
3. الفروع التى تنشأ من الشريان الأبهر الصاعد وقو س الأبهر: الشرايين التاجية، الجذع العضدى ا لرأسى، الشريان السباتى الأيسر المشترك، وا لشريان تحت الترقوى الأيسر (القسم 20.7أ)
4. الأربع شرايين الرئيسية فى الرقبة: الشريان الس باتى المشترك، الشريان الفقرى، الجذع الدرق-ا لرقبى، والجذع الضلعى-الرقبى (القسم 20.7ب)
5. الشرايين السباتية الخارجية والداخلية؛ فروع الشريا ن السباتى الخارجى (الشريان الدرقى العلوى، الشر يان اللسانى، الشريان الوجهى، الشريان القذالى، الشريان الفكى العلوى، والشريان الصدغى السطحى)؛ وفروع الشريان السباتى الداخلى (الشريان العينى، ال شريان الدماغى الأمامى، والشريان الدماغى الأوسط) (القسم 20.7ب)
6. التقاء الشرايين الفقرية لتشكيل الشريان القاعد ى؛ الشرايين الدماغية الخلفية والشرايين الم تجهة إلى المخيخ، الجسر، والأذن الداخلية ال ناشئة من الشريان القاعدى (القسم 20.7ب)
7. موقع ومكونات دائرة الشرايين الدماغية (القس م 20.7ب)
8. الجيوب الوريدية الجافية؛ الجيب السهمى العلوى، الجيب السهمى السفلى، الجيوب العرضية، والج يوب الكهفية؛ تصريف الدم من نظام الجيوب إلى ا لأوردة الوداجية الداخلية (القسم 20.7ح)
9. الأوردة الوداجية الداخلية، الوداجية الخارجية، والفقرية فى الرقبة (القسم 20.7ح)
10. الفروع الحشوية (الشرايين القصبية والمريئية) وا لفروع الجدارية (الشرايين بين الضلعية الخل فية، تحت الضلعية، والشرايين الحجابية العلو ية) للشريان الأورطى الصدرى (القسم 20.7د)
11. شرايين الصدر والكتف الناشئة من الشريان تح ت الترقوة واستمراره، الشريان الإبطى: الشريا ن الصدرى الداخلى، الجذع الصدرى الترقوى، ا لشريان الصدرى الجانبى، والشريان تح ت الكتف (القسم 20.7د)
12. الوريد تحت الترقوة، الوريد العضدى الرأسى، والوريد الأجوف العلوى؛ المعالم التى تحدد ا لانتقال من واحد إلى آخر (القسم 20.7هـ)
13. نظام الوريد الأزيوس فى الصدر، خاصة الأور دة الأزيوس، الهيميازيوس، والهيميازيوس الإ ضافى؛ روافدها، بما فى ذلك الأوردة بين الضل عية الخلفية، تحت الضلعية، المريئية، المن صفية، التامورية، القصبية، والقطنية الصاعدة (القسم 20.7هـ)
14. فروع الشريان الأبهر البطنى: الشرايين الحجابية السفلية؛ الجذع البطنى؛ والشرايين المساريقية العلوية، فوق الكلوية الوسطى، الكلوية، ال تناسلية (المبيضية أو الخصوية)، المساريقية السفلية، القطنية، العجزية الوسطى، والشرا يين الحرقفية المشتركة (القسم 20.7f)
15. المجموعة العامة للأعضاء التى يغذيها الجذع ا لبطنى؛ فروعه الثلاثة الرئيسية—الشريان الكبد ى المشترك، الشريان المعدى الأيسر، وال شريان الطحالى—والفروع الأصغر التى تنشأ م ن كل منها (القسم 20.7f)
16. فروع الشريان المساريقى العلوى: الشريان البنكرياسى الاثنى عشرى السفلى، الشرايين الصائم ية، اللفائفية، وشرايين القولون اليمنى والوسطى (القسم 20.7f)
17. فروع الشريان المساريقى السفلى: الشريان القولونى الأيسر، الشريان السينى، والشريان المستقيمى العلوى (القسم 20.7f)
18. فرعين رئيسيين للشريان الحرقفى المشترك، الجذع الخلفى والأمامى للشريان الحرقفى الدا خلى، والأعضاء التى تغذيها هذه الجذوع (الق سم 20.7f)
19. التقاء الأوردة الحرقفية الداخلية والخارجية لتشكيل الوريد الحرقفى المشترك؛ التقاء ال وريد الحرقفى المشترك الأيمن والأيسر لـ تشكيل الوريد الأجوف السفلى (IVC) (الق سم 20.7g)
20. الوريدات البطنية للوريد الأجوف السفلى: الأوردة ا لقطنية، التناسلية (المبيضية أو الخصوية)، ا لكلوية، فوق الكلوية، الكبدية، والحجابية السفل ية (القسم 20.7g)
21. الأوردة القطنية الصاعدة، تصريفها فى البطن، واستمرارها إلى الصدر (القسم 20.7g)
22. نظام البوابة الكبدى وفروعه: الوريد الطحالى؛ ا لأوردة البنكرياسية، الوريد المساريقى السفلى، والوريد المساريقى العلوى التى تصب فيه؛ ال استمرار الوريد الطحالى كوريد بوابة كبدى؛ ال وريد الكيسى والأوردة المعدية التى تصب فى ا لوريد البابى الكبدى؛ الجيوب الكبدية فى الك بد؛ والأوردة الكبدية (القسم 20.7ح)

20.8 الأوعية الجهازية لمنطقة الأطراف

1. الشريان الرئيسى للطرف العلوى، الذى يتغ ير اسمه على طول مساره من تحت الترقوة إ لى الإبطى إلى العضدى؛ فروع الشريان العض دى فى الذراع (الشريان العضدى العميق وال شرايين المتفرعة العلوية للزند)؛ والشريان الم تفرع الشعاعى (القسم 20.8أ)
2. فروع الشريان العضدى التى تغذى الساعد: ا لشرايين الشعاعية والزندية؛ الشرايين بين الع ظمية الأمامية والخلفية؛ والأقواس الراحية العميقة والسطحية (القسم 20.8أ)
3. الشبكة الوريدية الظهرية لليد؛ الوريد المتو سط قبل الذراع؛ والوريد المتوسط الكع بى (القسم 20.8ب)
4. الأقواس الوريدية الراحية، والأوردة العضد ية، البازيليكية، الإبطية، وتحت الترقوة (القسم 20.8ب)
5. استمرار الشريان الحرقفى الخارجى كالشريان الفخذى؛ فروع الشريان الفخذى العميق والشر يان الفخذى المحيطى؛ الشريان المأبضى؛ وال شرايين الظنبوبية الأمامية والخلفية (القسم 20.8ح)
6. الشرايين الظهرية للقدم والقوسية التى تنشأ م ن الشريان الظنبوبى الأمامى؛ الشرايين الشظوية، الأخمصية الوسطى، والأخمصية الجانبية؛ والق وس الأخمصى العميق (القسم 20.8ح)
7. القوس الوريدى الظهرى السطحى، الأوردة الصافنة الصغيرة والكبيرة، والوريد الركبى (القسم 20.8د)
8. القوس الوريدى الأخمصى العميق؛ الأوردة الأخمصية الجانبية والوسطى؛ الأوردة الشظوية والظنبوبية ا لخلفية؛ والأوردة الظنبوبية الأمامية (القس م 20.8د)
9. الأوردة الفخذية، الفخذية العميقة، والحرقفية الخارجية (القسم 20.8د)

دليل الدراسة

اختبار استذكارك

الإجابات في الملحق أ

1. يتدفق الدم غالبًا إلى شبكة الشعيرات الدموية من
أ. الشرايين الموزعة.
ب. الشرايين الناقلة.
ج. شريان متوسطة.
د. توصيل شرياني وريدي (تشابك شرياني وريدي).
هـ. الأوردة الدقيقة.

2. تدخل المذاب في البلازما إلى سائل النسيج بسه ولة أكبر من
أ. الشعيرات الدموية المستمرة.
ب. الشعيرات الدموية المثقبة.
ج. التوصيلات الشريانية الوريدية.
د. الأوعية الجانبية.
هـ. التشابكات الوريدية.

3. آخر شريان ينشأ من قوس الأبهر قبل الأبهر ال نازل هو
أ. الشريان تحت الترقوي الأيسر.
ب. الشريان تحت الترقوي الأيمن.
ج. الجذع العضدي الرأسي.
د. الشريان السباتي المشترك الأيسر.
هـ. الشريان السباتي المشترك الأيمن.

4. المادة الأكثر احتمالاً للتسبب في انخفاض سريع في ضغط الدم هي
أ. الأدرينالين.
ب. النورأدرينالين.
ج. الأنجيوتنسين II.
د. السيروتونين.
هـ. الهيستامين.

5. الشخص الذي لديه ضغط دم انقباضي مقد اره 130 ملم زئبق وضغط دم انبساطي مق داره 85 ملم زئبق سيكون لديه ضغط شرياني متوسط حوالي
أ. 85 ملم زئبق.
ب. 100 ملم زئبق.
ج. 108 ملم زئبق.
د. 115 ملم زئبق.
هـ. 130 ملم زئبق.

6. سرعة تدفق الدم تنخفض إذا
أ. ازداد نصف قطر الوعاء الدموي.
ب. ارتفع ضغط الدم.
ج. ازداد اللزوجة.
د. انخفضت اللزوجة.
هـ. ازداد الحمل الخلفي.

7. يتدفق الدم بشكل أسرع في الوريد الصغير منه في الشعيرة الدموية لأن الأوردة الصغيرة
أ. لديها صمامات أحادية الاتجاه.
ب. أكثر عضلية.
ج. أقرب إلى القلب.
د. لديها ضغوط دم أعلى.
هـ. لديها أقطار أكبر.

8. يمر عبر الكوع و ______ال يربط بين الوريد السِّفْلي والوريد القِفْلِي في الذراع.
أ. الوريد المرفقي المتوسط
ب. الوريد المتوسط للساعد
ج. الوريد بين العظام الشائع
د. الوريد الصافن الصغير
هـ. قوس الوريد الكعبري

9. يتدفق الدم المعوي إلى الكبد عبر
أ. الشريان المساريقي العلوي.
ب. الجذع البطني.
ج. الوريد الأجوف السفلي.
د. نظام الأزيجوس.
هـ. نظام البوابة الكبدية.

10. يستقبل الدماغ الدم من جميع الأوعية التالية باستثناء ال ______ الشريان أو الوريد.
أ. القاعدي
ب. الفقرية
ج. الس carotid الداخلية
د. الوداجي الداخلي
هـ. الاتصال الأمامي

11. أعلى ضغط دم شرياني يتم الوصول إليه أثناء ا نقباض البطين يسمى ضغط . وأدنى ضغ ط يتم الوصول إليه أثناء استرخا ______ ء البطين يسمى ضغط . ______

12. الشعيرات الدموية للعضلات الهيكلية هي من ا لنوع الهيكلي المسمى ______ .

13. الوريدان العضديان الرأسيان الأيسر والأيمن يتحدان لتشكيل ______ .

14. دور التنفس في العودة الوريدية يسمى ______ .

15. الفرق بين الضغط الاسموزي الغرواني للدم وذ لك لسائل النسيج يسمى ______ .

16. الحركة عبر بطانة الشعيرات الدمويةعن طريق ا متصاص وإطلاق قطرات السوائل تُسمى ______ .

17. جميع الألياف الصادرة من مركز تنظيم الأوعية تنتمي إلى ______قسم من الجهاز المناعي الذاتي الجهاز العصبي الذاتي.

18. مستشعرات الضغط في الشرايين الرئيسية القريبة من الرأس تُسمى ______ .

19. يأتي معظم إمداد الدم إلى الدماغ من حلقة من التوصيلات الشريانية تُسمى ______ .

20. الأوردة السطحية الرئيسية في الذراع هي ______ على الجانب الإنسي و ______ على الجانب الوحشي.

بناء مفرداتك الطبية

الإجابات في الملحق أ

اذكر معنى كل عنصر من عناصر الكلمة، وقدم مصطلحًا طبيًا من هذا الفصل يستخدمه أو تعديلًا طفيفًا له.

1. أنجيو-
2. براشيو-
3. سيلي-
4. فينسترا-
5. جوغولو-
6. -أورو
7. سافينو-
8. تحت-
9. صدري-
10. مثاني-

دليل الدراسة

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

الإجابات فى الملحق أ

اشرح بإيجاز لماذا كل من العبارات التالية خاطئة، أو أعد صياغتها لتصبح صحيحة.

1. لا يمكن للدم أن ينتقل من الشريان إلى الوريد دون المرور أولاً عبر بعض الشعيرات الدموية.
2. يعود الدم من الدماغ إلى القلب عبر الأوردة الوداجية الخارجية.
3. أطول وعاء دموى فى الجسم هو الوريد الأجوف السفلى.
4. تحتوى الشرايين على سلسلة من الصمامات التى تضمن تدفق الدم فى اتجاه واحد.
5. إذا تضاعف نصف قطر وعاء دموى وبقيت جميع العوامل الأخرى ثابتة، فإن تدفق الدم عبر ذلك الوعاء يتضاعف أيضًا.
6. مثلث الفخذ محاط بالرباط الأربى، وعضلة السرتوريوس، وعضلة المستقيم الفخذى.
7. تتلقى الرئتان الدم حصريًا من الدورة الدموية الرئوية.
8. إذا فشلت الشعيرات الدموية فى إعادة امتصاص كل السائل الذى تفرزه، سيحدث وذمة.
9. تمزق الأوعية الدموية هو تمدد الأوعية الدموية.
10. فى المنعكس البارورى، يؤدى انخفاض ضغط الدم الشريانى إلى توسع تصحيحى للأوعية الدموية الجهازية.

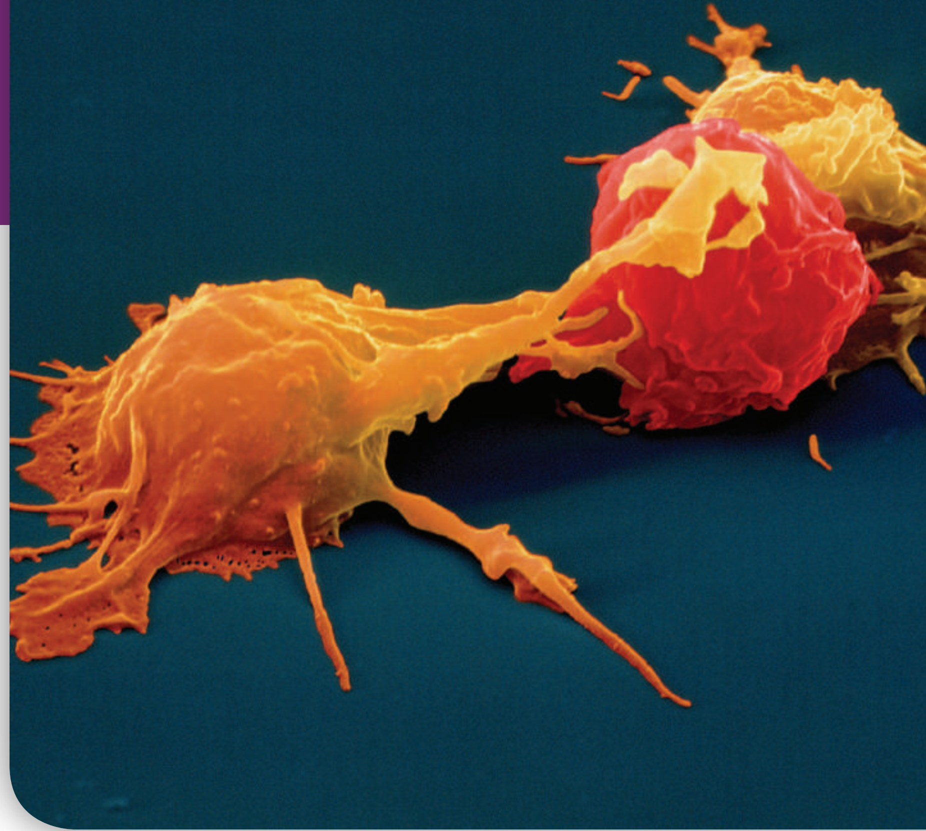
اختبار فهمك

1. هناك تصور شائع بين العامة بأن ضغط الدم الانقباضى يجب أن يكون 100 زائد عمر الشخص. قيّم صحة هذا البيان.
2. احسب صافى الضغط الترشيحى أو الامتصاصى عند نقطة فى شعيرة دموية افتراضية بافتراض ضغط دم هيدروستاتيكى مقداره 28 ملم زئبق، وضغط هيدروستاتيكى بينى مقداره −2 ملم زئبق، وضغط أسموزى للبروتينات فى الدم (COP) مقداره 25 ملم زئبق، وضغط أسموزى للبروتينات بينى مقداره ٤ مم زئبق. أعطِ المقدار (بـ مم زئبق) والاتجاه (دخول أو خروج) للصافى ضغط.
3. يجب أن يتم توصيل الألدوستيرون الذى تفرزه الغدة الكظرية إلى الكلية الموجودة أدناه على الفور. تتبع المسار الذى يجب أن تسلكه جزيئة الألدوستيرون من الغدة الكظرية إلى الكلية، مع تسمية جميع الأوعية الدموية الرئيسية بالترتيب الذى تُسلك فيه.
4. الأشخاص الذين يعانون من الصدمة يظهرون عادة شحوبًا، جلدًا باردًا، تسرع ضربات القلب، ونبضًا ضعيفًا. اشرح الأساس الفسيولوجى لكل من هذه العلامات.
5. ناقش لماذا من المفيد وجود مستقبلات الضغط (باروريسبتورات) فى قوس الأبهر وجيب السباتى بدلاً من وجودها فى مواقع أخرى مثل الشرايين الحرقفية المشتركة.

الفصل

21

الجهاز اللمفاويو جهاز المناعة



خلايا القاتل الطبيعي)NK( )باللون البرتقالي(تهاجم خلية سرطانية بشرية)باللون الأحمر(
عين العلوم / مصدر العلوم

رؤى أعمق

21.1 التطبيق السريري: علم المناعة العصبية

21.2لتطبيق السريري: العقد اللمفاوية و السرطان المنتشر

21.3التطبيق السريري: متلازمة راى

21.4التطبيق السريري: كوفيد-19: مرض فرط الالتهاب



الوحدة 10: الجهاز اللمفاوى

مخطط الفصل

الاحترام والشهرة العالمية الهائلة التى طالما تاق إليها.
فى الواقع، شارك جائزة نوبل فى علم وظائف الأعضاء أو الطب لعام 1908
مع بول إرليش)1854–1915(، الذى طور نظرية المناعة الخلطية، وهى عم
لية نوقشت أيضًا فى هذا الفصل.
يركز هذا الفصل بشكل كبير على الجهاز المناعى، الذى
ليس نظامًا عضويًا بل هو مجموعة من الخلايا التى تسكن
جميع أعضائنا وتدافع عن الجسم ضد عوامل المرض.
لكن خلايا المناعة تتركز بشكل خاص فى نظام عضوى حقيقى، وهو نظام ا
لأنسجة اللمفاوية. هذا هو شبكة من الأعضاء والأوعية الشبيهة بالأوردة ال
تى تستعيد سائل الأنسجة، وتفحصه بحثًا عن عوامل الأمراض، وتفعّل الا
ستجابات المناعية، وتعيد السائل إلى مجرى الدم. نبدأ استكشاف هذا الف
صل مع نظام الأنسجة اللمفاوية.

APR الجهاز اللمفاوى 21.1

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. سرد وظائف الجهاز اللمفاوى؛
ب. شرح كيفية تكوّن اللمف وعودته إلى مجرى الدم؛
ج. تسمية الخلايا الرئيسية فى الجهاز اللمفاوى وذكر وظائفها؛
د. تسمية ووصف أنواع الأنسجة اللمفاوية؛ و
هـ. وصف تركيب ووظيفة نخاع العظم الأحمر، الغدة الزعترية)ا
لثيموس(، العقد اللمفاوية، اللورتين، والطحال.

يتكون النظام اللمفاوى)الجهاز اللمفاوى( )الشكل 21.1(من شبكة م
ن الأوعية اللمفاوية التى تخترق تقريبًا كل نسيج من أنسجة الجسم، و
مجموعة من الأنسجة والأعضاء اللمفاوية التى تنتج خلايا المناعة. وت
شمل هذه العقد اللمفاوية، الطحال، الغدة الزعترية، اللورتين، ونخاع ا
لعظم الأحمر.
للنظام اللمفاوى ثلاث وظائف:

1. استرداد السوائل. تتسرب السوائل باستمرار من الشعيرات الد
موية الدموية إلى الفراغات النسيجية)الخلالية(. تمتص الشعيرا
ت الدموية حوالى 85% منها فى المتوسط، لكن الـ 15% ال
تى لا تمتصها ستصل خلال اليوم إلى 2 إلى 4 لترات من الماء
وربع إلى نصف البروتين الموجود فى بلازما الدم.
سيموت الإنسان من فشل الدورة الدموية خلال ساعات إذا لم
تُعاد هذه المياه والبروتينات إلى مجرى الدم. إحدى مهام الأوعية
اللمفاوية هى إعادة امتصاص هذا الفائض وإرجاعه إلى الدم. ح
تى التدخل الجزئى فى تصريف الجهاز اللمفاوى يمكن أن يؤدى
إلى وذمة لمفية شديدة)انظر الشكل 20.21(.
2. المراقبة المناعية. أثناء استرداد النظام اللمفاوى لسوائل الأنسج
ة، يلتقط أيضًا الخلايا والمواد الكيميائية الأجنبية من الأنسجة.
فى طريقه إلى مجرى الدم، يمر السائل عبر العقد اللمفاوية، ح
يث تكون الخلايا المناعية فى حالة تأهب دائم للبحث عن الموا
د الغريبة. عندما تكتشف أى شىء قد يكون ضارًا، تنشط استجا
بة مناعية وقائية.
3. امتصاص الدهون. فى الأمعاء الدقيقة، تمتص أوعية لمفاوية
خاصة تسمى اللاكتيلات الدهون الغذائية التى لا تمتصها ا
لشعيرات الدموية.

مراجعة سريعة

- تتمتع الأعضاء اللمفاوية بعدة خصائص مشتركة مع الغدد الخار
جية الإفراز — الكبسولة، الحواجز، الدعامة، والبرنشيم.
مراجعة معانى هذه المصطلحات وعلاقاتها الهيكلية قد تساعدك على فه
م أفضل لتشريح الأعضاء اللمفاوية)انظر القسم ٥.٥ب(.
- آليات تدفق اللمف مشابهة لتلك الخاصة بالعودة الوريدية للدم)ان
ظر القسم ٤٠.٢أ(.
- تشارك الكريات البيضاء بعمق فى المناعة والدفاع بطرق مختلفة.
يمكنك مراجعة أنواع الكريات البيضاء، مظهرها، ووظائفها بـ
سهولة فى الجدول ٦.٨١.
- تشمل أفعال الخلايا المناعية ضد العوامل الممرضة عمليات الالتقام، الا
لتقام الخلوى المتوسط بالمستقبلات، والإفراز الخلوى الموضح فى ا
لقسم ٣.٣و.
- تلعب الإيكوسانويدات التى تم تقديمها فى القسم ٦.٧١ أدوارًا متعددة مه
مة فى العمليات المناعية الموضحة فى هذا الفصل.

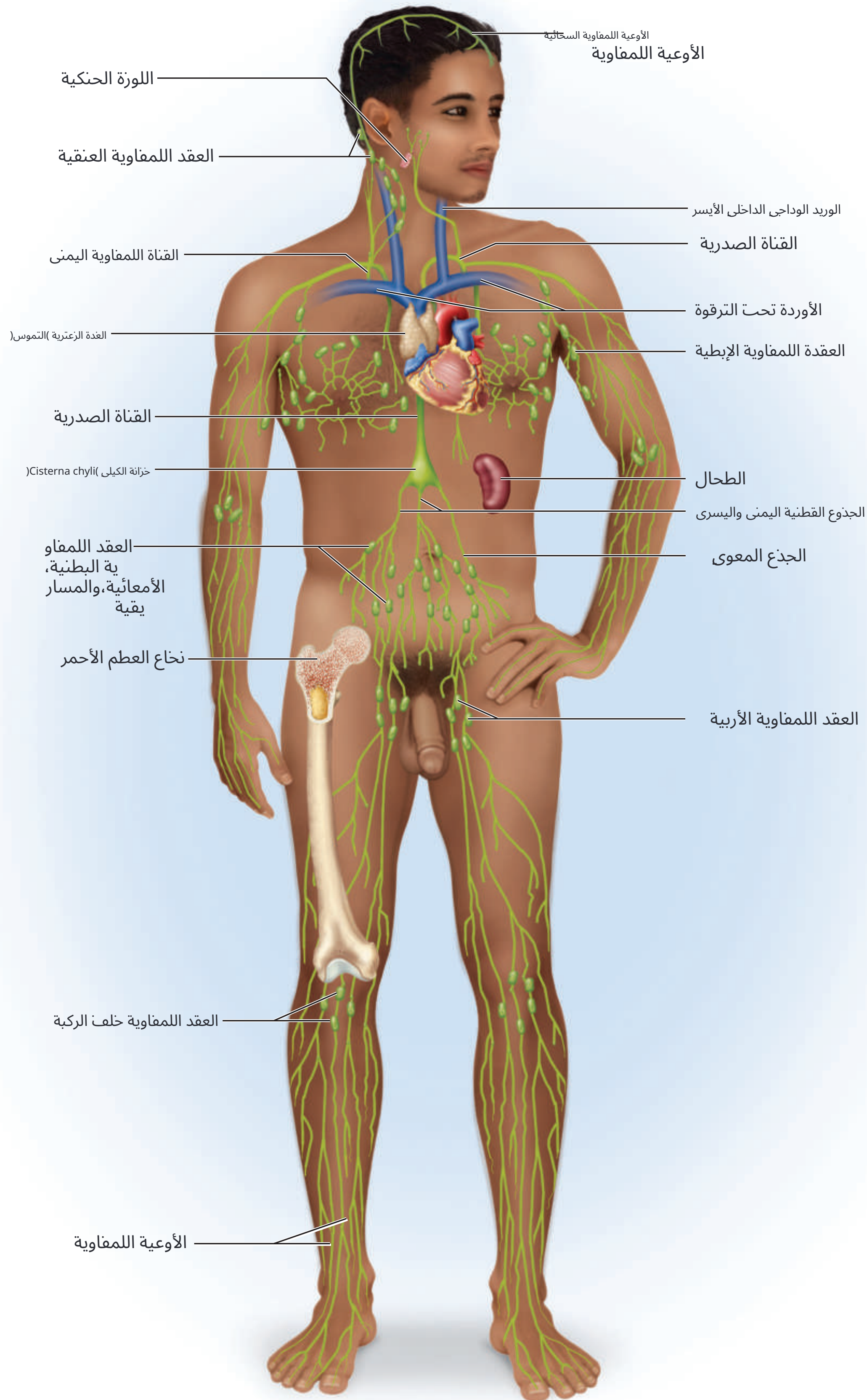
قد يكون من المفاجئ معرفة أن جسم الإنسان يحتوى على عدد من الخلا
يا البكتيرية لا يقل عن عدد الخلايا البشرية. لكن لا ينبغى أن يكون ذلك م
فاجئًا. فبعد كل شىء، يعمل التوازن الداخلى للإنسان بشكل رائع ليس فقط
للحفاظ على حياتنا، بل أيضًا لتوفير بيئة دافئة ورطبة ومغذية ومتوقعة ل
ضيوفنا الداخليين.
من العجيب أن الجسم لا يغمره ويدمره الكائنات الدقيقة—وهو ما يحدث
بسرعة فعلاً عند وفاة الإنسان وتوقف التوازن الداخلى.

الكائنات الدقيقة الضيفة لدينا، وخاصة تلك الموجودة فى الأمعاء، تُسم
ى مجتمعةً الميكروبيوم. العديد منها مفيد أو حتى ضرورى لصحة الإنسان،
لكن بعضًا منها قد يكون قادرًا على التسبب فى المرض إذا خرج عن السى
طرة. علاوة على ذلك، نحن معرضون باستمرار لغزاة جدد من خلال الطعام و
الماء الذى نستهلكه، والهواء الذى نتنفسه، وحتى الأسطح التى نلمسها.

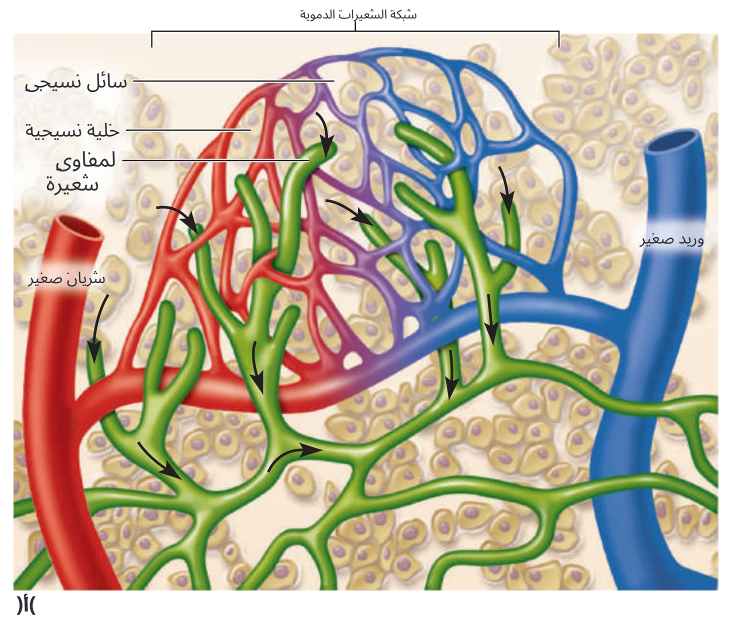
يجب أن يكون لدينا وسيلة للسيطرة على هؤلاء المستعمرين المحتملين.

تم اكتشاف أحد هذه الدفاعات فى عام 1882 بواسطة عالم الحيوان الر
وسى إيلى ميتشنيكوف)1845–1916(. عند دراسته يرقات نجم البحر ال
صغيرة الشفافة، لاحظ خلايا متحركة تتجول فى جميع أنحاء أجسامها. ظن
فى البداية أنها يجب أن تكون خلايا هضمية، ولكن عندما رأى خلايا مماثلة
فى شقائق النعمان البحرية تبتلع جزيئات صبغة غير مغذية قام بحقنها، اع
تقد أنها يجب أن تلعب دورًا دفاعيًا. كان ميتشنيكوف يعلم أن الخلايا المتح
ركة توجد أيضًا فى دم الإنسان والقيح وتحيط بسرعة بشظية تدخل عبر الج
لد، لذا قرر إجراء تجربة ليرى ما إذا كانت خلايا نجم البحر ستفعل الشىء ن
فسه. قام بغرز يرقة نجم البحر على شوكة وردة، وفى صباح اليوم التالى وجد
الشوكة مغطاة بالخلايا التى بدت وكأنها تحاول التهامها. لاحقًا شاهد خلايا
مماثلة تلتهم وتهضم الخميرة المعدية فى قشريات شفافة صغيرة تسمى
براغيث الماء. صاغ مصطلح البلعمة لهذه الاستجابة وسمى الخلايا المتجولة
البلعميات— وهى مصطلحات لا نزال نستخدمها حتى اليوم.

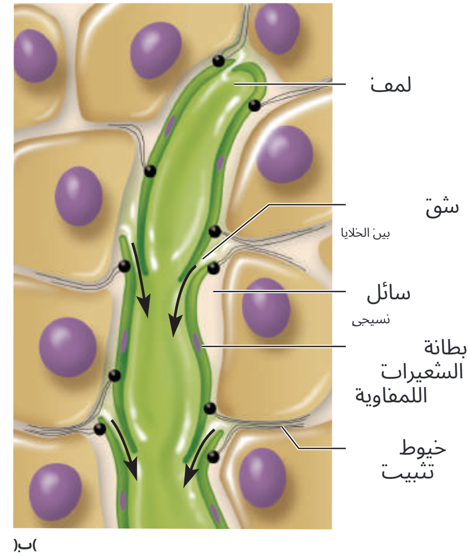
أظهر ميشنكوف أن الحيوانات، من شقائق النعمان البحرية البسيطة و
نجم البحر إلى البشر، تدافع بنشاط عن نفسها ضد عوامل الأمراض. وقد
شكلت ملاحظاته تأسيس علم المناعة الخلوى والمقارن، وفاز بها جائزة علم
ية



الشكل 21.1 الجهاز اللمفاوى.



)أ(



)ب(

الشكل 21.2 الشعيرات اللمفاوية.)أ(علاقة الشعيرات اللمفاوية بسرير الشعيرات الدموية الدموية.)ب(امتصاص سائل النسيج بواسطة شعير ة لمفاوية.

لماذا يمكن لخلايا السرطان المنتشرة أن تدخل النظام اللمفاوى بسه ولة أكبر مما يمكنها دخول مجرى الدم؟

مكونات الجهاز اللمفاوى هى)1(*اللمف*، السائل المستعاد؛)2(*الأوعية اللمفاوية*، التى تنقل اللمف؛ *النسيج اللمفاوى*، المكون من تجمعات من الخلايا اللمفاوية و (3) البلعميات الكبيرة التى تتواجد فى العديد من أعضاء الجسم؛ و)4(الأع ضاء اللمفاوية، التى تتركز فيها هذه الخلايا بشكل خاص والتى تفصلها عن الأعضاء المحيطة كبسولات من النسيج الضام.

21.1أ اللمف والأوعية اللمفاوية

اللمف هو عادة سائل شفاف وعديم اللون، مشابه لبلازما الدم ولكنه منخفض البروتين. ينشأ كسائل نسيجي يتم امتصاصه بواسطة الأوعية اللمفاوية. يختلف تركيبه بشكل كبير من مكان إلى آخر ومن وقت
إلى آخر. بعد تناول الطعام، على سبيل المثال، يكون اللمف المتدفق
من الأمعاء الدقيقة ذو مظهر حليبى بسبب محتواه من الدهون. يحتوى اللمف الخارج من العقد اللمفاوية على
عدد كبير من الخلايا اللمفاوية—فى الواقع، هذا هو المصدر الرئيسى لخلايا اللمف إلى مجرى الدم. قد يحتوى اللمف أيضًا على البلعميات، الهرمونات، البكتيريا، الفيروسات، حطام الخلايا، أو حتى خلايا سرطانية متحركة.

الأوعية اللمفاوية

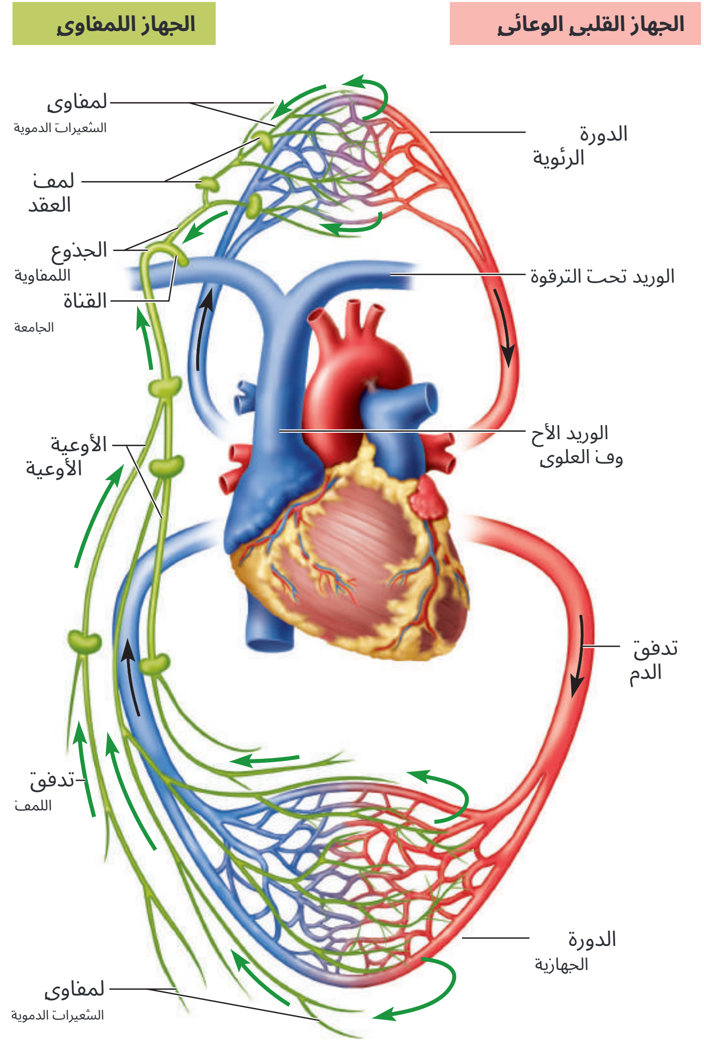
يتدفق اللمف عبر نظام من الأوعية اللمفاوية)الأوعية اللمفاوية(مما ثل للأوعية الدموية. تبدأ هذه الأوعية بشعيرات لمفاوية مجهرية)الأوع ية اللمفاوية الطرفية(، التى تخترق تقريبًا كل نسيج من أنسجة الجسم لكنها غائبة عن الغضروف، والعطم، ونخاع العظم، والقرنية. ترتبط ارت باطًا وثيقًا بالشعيرات الدموية، ولكن على عكسها، فهى مغلقة من أح د الطرفين)الشكل 21.2(ولا يوجد تدفق مستمر للسائل كما هو الحا ل فى الشعيرات الدموية الدموية؛ يبدأ تدفق اللمف هنا. تتكون الشع يرة اللمفاوية من كيس من الخلايا البطانية الرقيقة التى تتداخل بشكل فضفاص مع بعضها البعض مثل القرميد على السقف. ترتبط هذه ا لخلايا بالأنسجة المحيطة بواسطة خيوط تثبيت تمنع الكيس من الانه يار.
على عكس خلايا البطانة الداخلية لشعيرات الدم، فإن خلايا البطا نة الداخلية اللمفاوية ليست مرتبطة بواسطة وصلات ضيقة، ولا تمتل ك غشاء قاعدى مستمر؛ فى الواقع، هناك فجوات تُسمى الفجوات بين الخلوية بينها كبيرة جدًا بحيث يمكن للبكتيريا، والخلايا اللمفاوية، وخلايا وجسيمات أخرى الدخول معها إلى جانب سائل النسيج. وبالتا لى، فإن تركيبة اللمف الذى يصل إلى العقدة اللمفاوية تشبه تقريبًا ع ن حالة الأنسجة العليا.
تعمل الحواف المتداخلة لخلايا البطانة كصمامات
يمكنها الفتح والإغلاق. عندما يكون ضغط سائل النسيج مرتفعًا، فإنه يدفع الصمامات إلى الداخل)تفتح(ويتدفق السائل إلى الشعيرات الدموية. عندما يكون الضغط فى الشعيرات اللمفاوية أعلى منه فى سائل الن سيج، يتم دفع الصمامات إلى الخارج)مغلقة(.

▶▶▶ طبق ما تعرفه

قارن بين بنية الشعيرة اللمفاوية وبنية الشعيرة الدموية المستمرة . اشرح لماذا يرتبط الاختلاف البنيوى بينهما بالاختلاف الوظيفى.

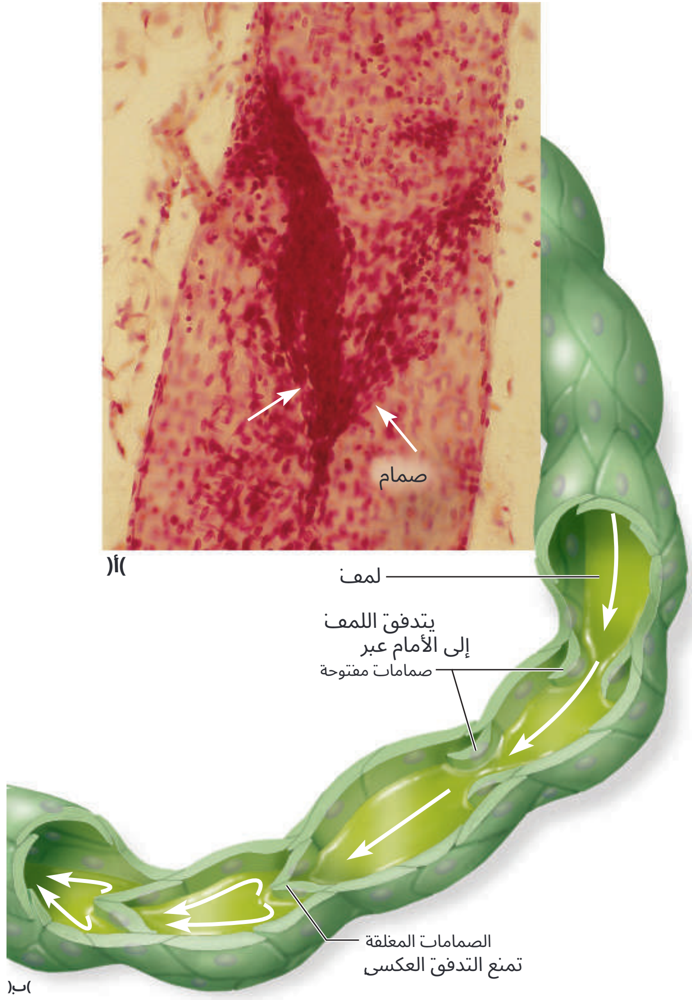
مع تقارب الأوعية اللمفاوية على طول مسارها، تصبح أوعية أكبر وأكبر مع تغير الأسماء. المسار من سائل النسيج إلى مجرى الدم هو: ا → الأوعية الجامعة →لشعيرات اللمفاوية 11 قناتان→ جذعًا لمفاويًا الأوردة تحت الترقوة. وهكذا، هناك إعادة تدوير مستمرة→جامعّتان للسائل من الدم إلى سائل النسيج إلى اللمف ثم العودة إلى الدم)ال شكل 21.4(.
تتقارب الشعيرات اللمفاوية لتشكل الأوعية الجامعة. غالبًا ما ت سير هذه الأوعية بجانب الأوردة والشرايين وتشارك معها غمد نسيج ضام مشترك، لذلك غالبًا ما يُرى الشريان والوريد والوعاء اللمفاوى معًا فى مقاطع الأنسجة)انظر الشكل 20.1أ(. وعلى فترات غير منتظمة، تفرع هذه الأوعية فى العقد اللمفاوية.
يتدفق اللمف ببطء عبر كل عقدة، حيث يتم القضاء على البكتيريا

تتشكل الأوعية اللمفاوية فى الجنين عن طريق التبرعم من الأورد ة، لذلك ليس من المستغرب أن تكون الأوعية الأكبر لها نسيج مشابه. فهى تحتوى على *الطبقة الداخلية* مع بطانة وأصمامات)الشكل 21.3(، الطبقة الوسطى مع ألياف مرنة وعضلات ملساء، وط بقة خارجية رقيقة الطبقة الخارجية. جدرانها أرق وأصماماتها أقرب إل ى بعضها مقارنة بالأوردة.



الشكل 21.4 تبادل السوائل بين الجهاز الدوري و
الجهاز اللمفاوي. تفقد الشعيرات الدموية السوائل إلى
فراغات الأنسجة. تقوم الأوعية اللمفاوية بالتقاط فائض سوائل الأنسجة و
إعادتها إلى مجرى الدم.

حدد فائدتين لالتقاط الشعيرات اللمفاوية لسوائل الأنسجة التي لم
تستعدها الشعيرات الدموية.



الشكل 21.3 الصمامات في الأوعية اللمفاوية.)أ(صورة فوتوغرافية لصمام
لمفاوي.)ب(عمل الصمامات لضمان تدفق أحادي الاتجاه للمف.

ما هي العواقب إذا لم تكن هذه الصمامات موجودة؟

a: دينيس ستريب/ماكجرو هيل

تبتلع الخلايا البلعمية والخلايا المناعية السائل لمراقبته من وجود أح
سام مضادة غريبة. يخرج السائل من الجانب الآخر للعقدة عبر وعاء جم
ع آخر، ويسير في طريقه وغالبًا ما يمر بعقد لمفاوية إضافية قبل أن يع
ود أخيرًا إلى مجرى الدم.

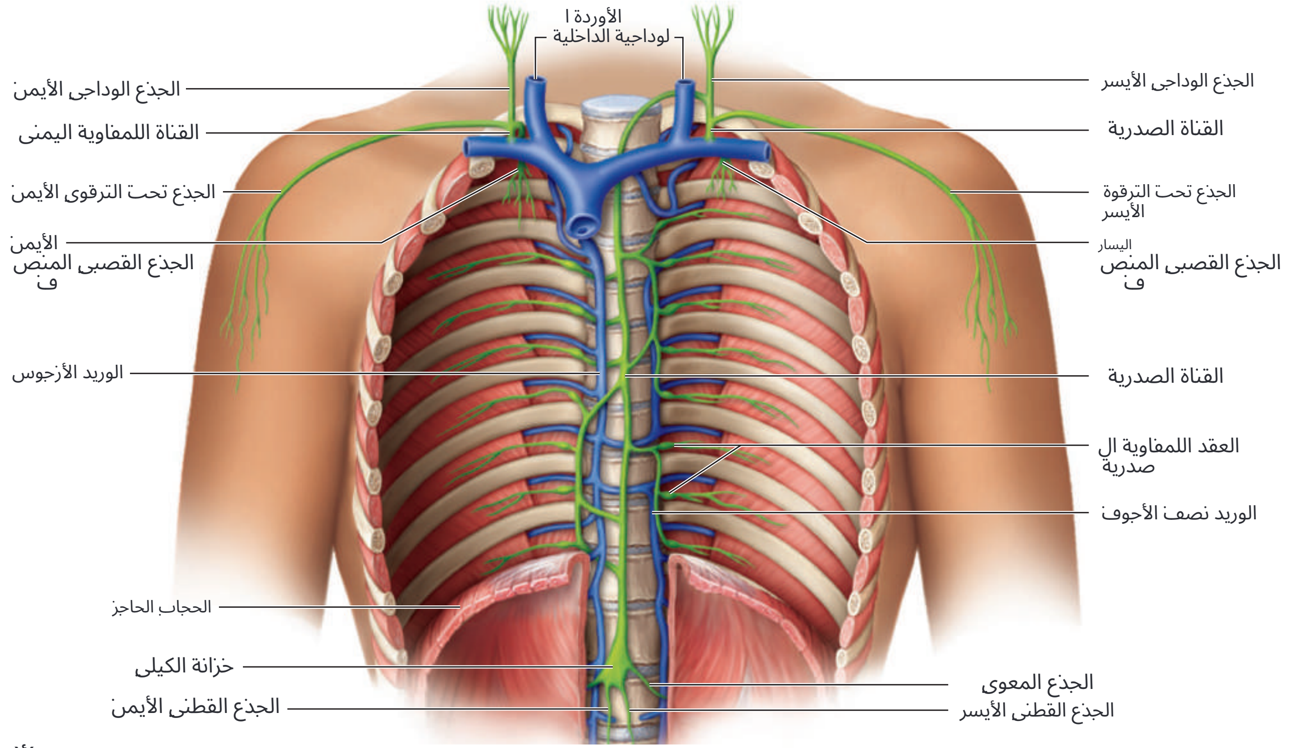
في النهاية، تتقارب أوعية الجمع لتشكل جذوع لمفاوية أكبر، كل
منها يصرف جزءًا رئيسيًا من الجسم. هناك 11 من هذه الجذوع، وأسم
اؤها تشير إلى مواقعها وأجزاء الجسم التي تصرفها: جذع معوي منفرد
وجذوع زوجية مثل الوداجي، تحت الترقوة، القصبي المنصف، بين الأ
ضلاع، والقطني. تصرف الجذوع القطنية ليس فقط منطقة القطنية
بل أيضًا الأطراف السفلية.

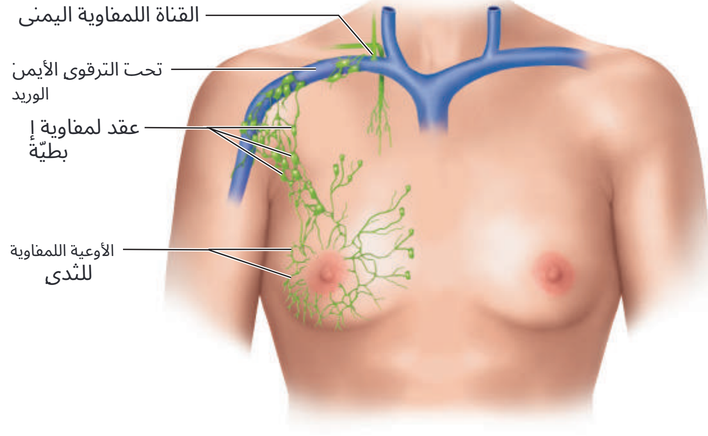
تتقارب الجذوع اللمفاوية لتشكل قناتين جامعتين، وهما أكبر الأو
عية اللمفاوية)الشكل 21.5(:

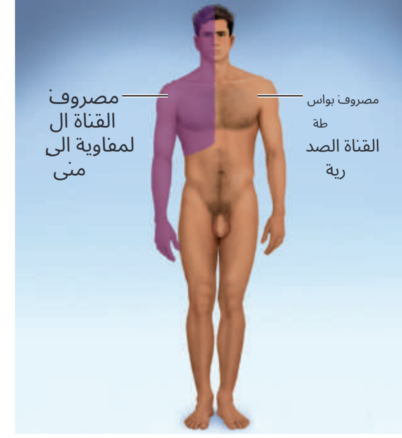
1. القناة اللمفاوية اليمنى تتكون من تقارب الجذوع الوداجية اليم
نى، تحت الترقوة، والقصبي المنصف في التجويف الصدري الأ
يمن. تستقبل هذه القناة الصرف اللمفاوي من الرأس، الدماغ
، الذراع اليمنى، والجانب الأيمن من الصدر، وتفرغ في الوريد تح
ت الترقوة الأيمن.

2. القناة الصدرية، على اليسار، أكبر وأطول. تبدأ أسفل الحجا
ب الحاجز أمام العمود الفقري عند مستوى الفقرة القطنية ال
ثانية. هنا، تنضم الجذوع القطنية والجذع المعوي لتشكل كي
سًا يسمى خزانة الكيلي)cisterna chyli(، سُميت بهذا الا
سم لكثرة كمية الكيلي)اللمف المعوي الدهني(التي تجمعها بعد
الوجبة. ثم تمر القناة الصدرية عبر الحجاب الحاجز مع ال
شريان الأورطي وتصعد في المنصف بجانب العمود الفقري. أ
ثناء مرورها عبر الصدر، تستقبل لمفًا إضافيًا من الجذوع الق
صبية المنصفية اليسرى، تحت الترقوة اليسرى، والوداجية ا
ليسرى، ثم تفرغ في الوريد تحت الترقوة الأيسر.

بشكل جماعي، تصرف هذه القناة جميع أجزاء الجسم أس
فل الحجاب الحاجز، والطرف العلوي الأيسر، والجانب الأيسر م
ن الرأس، الرقبة، والصدر.







الشكل 21.5 الأوعية اللمفاوية لمنطقة الصدر.)أ(الأوعية اللمفاوية للصدر والبطن العلوى وعلاقتها بالأوردة تحت الترقوية، حيث يعود اللمف إلى مجرى الدم.)ب(تصريف الأوعية اللمفاوية لمنطقة الثدى اليمنى وتحت الإبط.
APR)ح(مناطق الجسم التى يصرفها القناة اللمفاوية اليمنى والقناة الصدرية.

لماذا غالبًا ما يتم أخذ خزعة من العقد اللمفاوية تحت الإبط فى حالات الاشتباه بسرطان الثدى؟

تدفق اللمف

يتدفق اللمف تحت قوى مشابهة لتلك التى تتحكم فى العائد الوريدى الدوران)انظر الفصل 20(، باستثناء أن الجهاز اللمفاوى لا يحتوى على مضخة مثل القلب ويتدفق اللمف عند ضغط وسرعة أقل حتى أكثر من الدم الوريدى. الآلية الأساسية للتدفق هى إيقاعية انقباضات الأوعية اللمفاوية نفسها، التى تنقبض عندما يتمدد السائل عليها. صمامات الأوعية اللمفاوية، مثل تمنع تلك الموجودة فى الأوردة السائل من التدفق إلى الخلف. اللمف

يتولد التدفق أيضًا بواسطة عضلات الهيكل العظمى التى تضغط على الأوعية اللمفاوية الأوعية، مثل مضخة العضلات الهيكلية التى تحرك الدم الوريدى. نظرًا لأن الأوعية اللمفاوية غالبًا ما تكون ملفوفة مع شريان فى غمد ن سيجى صام مشترك، فإن نبض الشريان يضغط إيقاعياً على الأوعية ا للمفاوية المجاورة ويساهم فى تدفق اللمف. يعمل مضخة الصدر)ال تنفسية(على تعزيز تدفق اللمف من التجويف البطنى إلى التجويف ا لصدرى أثناء الشهيق، تمامًا كما يحدث فى عودة الدم الوريدى. وأخيرًا ، عند النقطة التى تلتقى فيها الأوعية الجامعة

وتدفع حتى السائل المحيط بها للتدفق على طول مساره والتسلل إلى النسيج العصبى. الأوردة الخارجة من الدماغ تسير أيضًا فى أنفاق مح يطية مملوءة بالسائل يتدفق فى الاتجاه المعاكس. يصرف سائل CSF –ISF إلى الفراغ تحت العنكبوتية حول الدماغ ويخرج من السحايا عبر نظام تصريف مزدوج — عبر الحبيبات العنكبوتية إلى مج رى الدم، وعبر الأوعية اللمفاوية الحقيقية التى تؤدى إلى العقد اللمفاو ية فى الرقبة.

تركيب سائل CSF–ISF فى هذه الأنفاق المحيطية ينظمه الخلايا ا لنجمية — خلايا الدبق العصبى فى الدماغ التى تلتف أقدامها المحيط ية حول الأوعية الدموية)انظر الشكل 12.6(. وبما أن الأوعية الشبيهة باللمفاوية مرتبطة بالدبق العصبى، فقد سميت *النظام اللمفاوى المر تبط بالدبق* ، والذى اختصر لاحقًا إلى النظام الجليمفاوى.

يوفر النظام الجليمفاوى وسيلة لتوصيل سريع للجلوكوز والأحما ض الأمينية وغيرها من الاحتياجات إلى أعماق نسيج الدماغ، ولتصري ف نفايات الدماغ. يؤدى تعطيل النظام الجليمفاوى إلى تراكم بروتين β-أميلويد المرتبط بمرض الزهايمر)انظر التعمق 12.4(. تتوسع وتتقل ص الفراغات الجليمفاوية مع دورة النوم واليقظة اليومية؛ يكون تدفق السائل وإزالة النفايات فى أقصاها أثناء النوم، عندما تتوسع الأوعية بحوالى 60%. علاوة على ذلك، يوفر هذا النظام رابطًا تشريحيًا مباشرًا من الدماغ إلى الجهاز اللمفاوى والمناعى. يُعد النظام الجليمفاوى اكت شافًا مثيرًا يدعم نظريات متنوعة مثل وظائف النوم، علم المناعة الع صبية)انظر التعمق 21.1(، ومرض الزهايمر.

تفرغ القنوات فى الأوردة تحت الترقوية، حيث يجذب تيار الدم السريع اللمف إلى داخله.وبالنظر إلى هذه الآليات لتدفق اللمف، يجب أن ى كون واضحًا لماذا يزيد التمرين البدنى بشكل كبير من معدل عودة اللم ف.

▶▶▶ طبق ما تعرفه

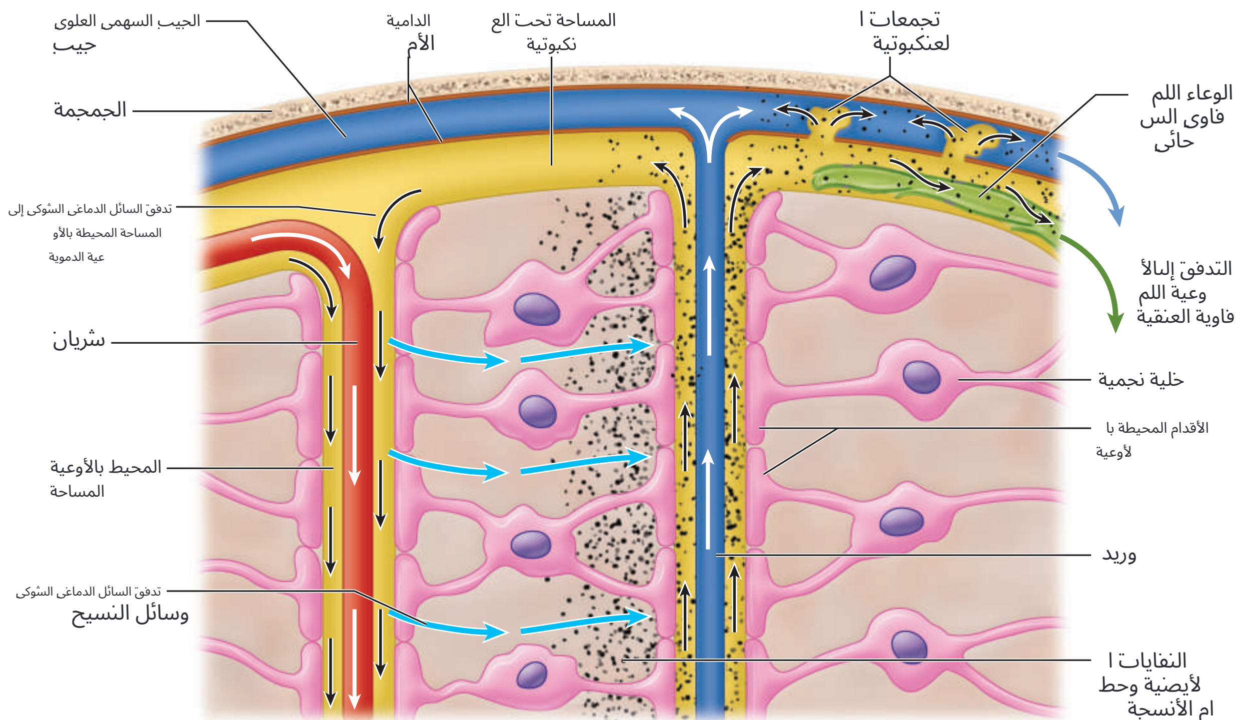
لماذا من المنطقى أكثر وظيفيًا أن تتصل القنوات الجامعة بالأورد ة تحت الترقوية بدلاً من اتصالها بالشرايين تحت الترقوية؟

21.1ب النظام الجليمفاوى فى الدماغ

حتى وقت قريب، كان يُعتقد أن الجهاز العصبى المركزى لا يحتوى عل ى نظام لمفاوى. وكان من الغامض كيف يمكن للجهاز العصبى المركز ى أن يعمل بدونه، حيث أن هذا النظام يوفر التوازن فى سوائل الأنس جة والمراقبة المناعية فى جميع أنحاء الجسم.
ثم فى عام 2015، باستخدام تقنية متقدمة جديدة فى المجهر، تم اك تشاف الأوعية اللمفاوية فى الأم الجافية لفئران التجارب ثم لدى البشر —ولكن ليس فى نسيج الدماغ نفسه. وبعد ذلك بوقت قصير، تم اك تشاف أوعية شبيهة بالأوعية اللمفاوية فى نسيج الدماغ.

عندما تخترق شرايين السحايا نسيج الدماغ، فإنها تسير فى أنفاق حول الأوعية الدموية[1] مملوءة بمزيج من السائل الدماغى الشوكى)C SF(والسائل الخلالى)ISF( )سائل النسيج( )الشكل 21 .6(. هذه الشرايين تنبض مع كل نبضة من نبضات القلب

[1] peri = حول؛ vasc = وعاء



الشكل 21.6 الجهاز الجليمفاوى.

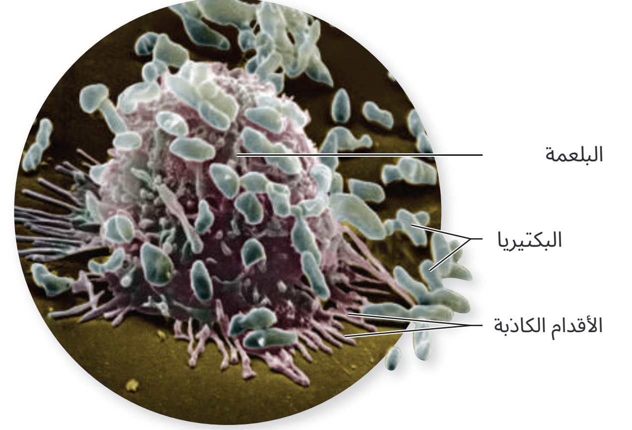


FIGURE 21.7 Macrophages Phagocytizing Bacteria. pseudopods of the macrophages snare the rod-shaped bacteria and draw them to the cell surface, where they are phagocytized.

David M. Phillips/Science Source

الحرف T يرمز إلى *المعتمدة على الزعتر*. هناك عدة فئات فرعية من خلايا T سيتم تقديمها لاحقًا.

4. اللمفاويات البائية (خلايا B) هى لمفاويات تتمايز إلى *خلايا بلازمية* — خلايا نسيج ضام تفرز الأجسام المضادة. سُميت بهذا الاسم نسبة إلى عضو فى الدجاج (جراب فابريشيوس[2]) *حيث تم اكتشافها لأول مرة. ومع ذلك، قد يكون من الأسهل* التفكير فى الحرف B على أنه يرمز إلى نخاع العظم، الموقع الذى تنضج فيه هذه الخلايا فى البشر.

5. البلعميات الكبيرة هى خلايا كبيرة جدًا، نشطة فى البلعمة، توجد فى الأنسجة الضامة. تنشأ من وحيدات النوى التى هاجرت من مجرى الدم ومن انقسام البلعميات الكبيرة الموجودة مسبقًا فى الأنسجة. تبتلع حطام الأنسجة، والعدلات الميتة، وكريات الدم الحمراء القديمة، والبكتيريا، وغيرها من المواد الغريبة (الشكل 21.7). كما تقوم بمعالجة المواد الغريبة وعرض شظايا مستضدية منها على خلايا T معينة، مما ينبه الجهاز المناعى بوجود عدو. تُسمى البلعميات الكبيرة والخلايا الأخرى التى تقوم بذلك مجتمعة خلايا عرض المستضد (APCs).

6. الخلايا التغصنية هى خلايا مقدمة للمستضد متفرعة ومتحركة توجد فى البشرة، الأغشية المخاطية، والأعضاء اللمفاوية. تلعب دورًا مهمًا فى تنبيه الجهاز المناعى إلى الممرضات التى اخترقت أسطح الجسم. تقوم بابتلاع المواد الغريبة، وتهاجر إلى عقدة لمفاوية قريبة، وتنشط رد فعل مناعى تجاهها.

21.1د الأنسجة اللمفاوية

الأنسجة اللمفاوية هى تجمعات من الخلايا اللمفاوية فى الأنسجة الضامة للأغشية المخاطية ومختلف الأعضاء. أبسط أشكالها هو النسيج اللمفاوى المنتشر، حيث تكون الخلايا اللمفاوية منتشرة بدلاً من أن تكون متجمعة بكثافة. وهو شائع بشكل خاص فى الممرات الجسمية المفتوحة إلى الخارج—الجهاز التنفسى، الهضمى، البولى، والتناسلى—حيث يُطلق عليه نسيج لمفاوى مرتبط بالغشاء المخاطى (MALT).



نظرة أعمق 21.1

تطبيق سريرى

علم المناعة العصبية

يضيف النظام الغليمفاوى جانبًا جديدًا ومثيرًا ل علم المناعة العصبية— وهو فرع من الطب يهتم بالعلاقة بين الجهاز العصبى والجهاز المناعى. يوفر مسار تصريف يمكن من خلاله أن يتدفق سائل نسيج الدماغ والسائل الدماغى الشوكى مباشرة إلى الجهاز اللمفاوى ويصل إلى العقد اللمفاوية العنقية فى الرقبة. وقد ينقل بذلك جزيئات الإشارة و الخلايا المقدمة للمستضد (التى سيتم وصفها لاحقًا فى هذا الفصل) من الدماغ إلى الجهاز المناعى.

الجهاز العصبى، والغدد الصماء، والجهاز المناعى مرتبطة ارتباطًا وثيقًا فى الصحة والمرض. تؤثر الناقلات العصبية على نشاط الخلايا المناعية بطرق متعددة. خلايانا المناعية الرئيسية—خلايا T، وخلايا B، والبلعميات— لديها مستقبلات لهذه الناقلات العصبية مثل الببتيد العصبى Y، المادة P، والببتيد المعوى الوعائى، ولهرمونات مثل الأدرينالين والكورتيزول. تؤثر هذه الإشارات على وظيفة المناعة بطرق متعددة: تقليل عدد اللمفاويات وإفراز الأجسام المضادة، كبح نشاط خلايا T والبلعميات، وقمع الالتهاب الوقائى. كما سيوضح هذا الفصل، ليس من المستغرب أن يؤدى التوتر المطول إلى زيادة القابلية للإصابة بالعدوى والسرطان.

وعلى العكس من ذلك، تصدر الخلايا المناعية أيضًا إشارات إلى الجهاز العصبى والغدد الصماء. تنتج هرمونات وناقلات عصبية نربطها عادة بالخلايا الصماء والعصبية. على سبيل المثال، تنتج خلايا B اللمفاوية هرمون الأدرينوكورتيكوتروبين (ACTH) والإنكيفالين؛ تنتج خلايا T اللمفاوية هرمون النمو والهرمون المنشط للغدة الدرقية؛ وتفرز الخلايا الوحيدة البرولاكتين، والسوماتوستاتين، وهرمونات أخرى. بعض هذه الإشارات تسبب شعورًا بالتعب والكسل عندما نكون مرضى. ويبدو بشكل متزايد أن الخلايا المناعية تؤثر على وظائف الجهاز العصبى والغدد الصماء بطُرُق تؤثر على التعافى من المرض.

لا يوجد مجال كبير للشك فى أن حالة عقل الشخص تؤثر على وظيفة الجهاز المناعى. الأشخاص الذين يعانون من التوتر يظهرون المزيد من التهابات الجهاز التنفسى ويستجيبون بشكل أقل فعالية للقاحات. تؤثر مواقف الأشخاص وقدراتهم على التكيف على مدة البقاء على قيد الحياة حتى فى حالات الإيدز وسرطان الثدى. تموت النساء المصابات بسرطان الثدى بمعدلات أعلى إذا كان شركاؤهن يتعاملون بشكل سيئ مع التوتر ويردون على مرضهن باللامبالاة أو الإنكار أو ما هو أسوأ. تؤثر المواقف مثل التفاؤل، والبهجة، والاكتئاب، والاستسلام، واليأس فى مواجهة المرض بشكل كبير على وظيفة الجهاز المناعى. لعلم المناعة العصبية دلالات واضحة لعلاج المرضى بطرق تقلل من توترهم وبالتالى تعزز الشفاء.

APR 21.1ج خلايا لمفاوية

مكون آخر من مكونات الجهاز اللمفاوى هو النسيج اللمفاوى، الذى يتراوح من خلايا متناثرة بشكل فضفاض فى الأغشية المخاطية للمسالك التنفسية والهضمية والبولية والتناسلية إلى تجمعات خلوية مضغوطة مغلفة فى الأعضاء اللمفاوية. تتكون هذه الأنسجة من مجموعة متنوعة من اللمفاويات وخلايا أخرى تلعب أدوارًا مختلفة فى الدفاع والمناعة:

1. العدلات هى كريات دم بيضاء مضادة للبكتيريا بشكل عدوانى وتم وصفها فى القسم 18.4ب.
2. الخلايا القاتلة الطبيعية (NK) هى لمفاويات كبيرة تهاجم وتدمر البكتيريا والأنسجة المزروعة، و *خلايا المضيف* (خلايا من جسم الإنسان نفسه) التى أصيبت بالفيروسات أو تحولت إلى خلايا سرطانية.
3. اللمفاويات التائية (خلايا T) هى لمفاويات تنضج فى الغدة الزعترية وتعتمد لاحقًا على هرمونات الزعتر؛

[2]هيرونيموس فابريشيوس (جيرولامو فابريزى) (1537–1619)، عالم تشريح إيطالى

نخاع العظم الأحمر هو نسيج ناعم، منظم بشكل فضفاض، عالى التوعية الدم
وية، مفصول عن النسيج العظمى بواسطة الغشاء الداخلى للعظم)الإندوستيم(.
تدخل العديد من الشرايين الصغيرة *الثقوب المغذية* على سطح العظم
، تخترق العظم، وتفرغ فى *الجيوب الدموية* الكبيرة)عرضها من 45 إلى
80 ميكرومتر(فى النخاع)الشكل 21.9(. تصب الجيوب الدموية فى *ا
لوريد الطولى المركزى* الذى يخرج من العظم عبر نفس الطريق الذى دخ
لت منه الشرايين. تبطن الجيوب الدموية خلايا بطانية، مثل باقى الأوع
ية الدموية. ترتبط خلايا تكوين الدم بطرق مختلفة بخلايا الشبكة وعناصر
أخرى من الإطار)النسيج الداعم(للنخاع. تفرز خلايا الشبكة عوامل تحفيز
المستعمرات وإشارات أخرى تحث الخلايا الجذعية على التطور إلى كريا
ت دم بيضاء، وكريات دم حمراء، وخلايا كبيرة متعددة النوى مكونة للص
فائح الدموية. فى العظام الطويلة للأطراف، تتراكم خلايا الشبكة المتقدم
ة فى السن الدهون وتتحول إلى خلايا دهنية، مما يؤدى فى النهاية إلى ا
ستبدال نخاع العظم الأحمر بنخاع العظم الأصفر.

تشغل الفراغات بين الجيوب الدموية جزر)حبال(من نسيج تكو
ين الدم، تتكون من البلعميات وخلايا الدم فى جميع مراحل التطور. تد
مر البلعميات خلايا الدم المشوهة والنوى التى تتخلص منها كريات الد
م الحمراء النامية. مع نضوج خلايا الدم، تدفع طريقها عبر خلايا الشبكة
والخلايا البطانية للدخول إلى الجيوب الدموية وتنساب فى مجرى الدم
.

الغدة الزعترية)التموس(

الغدة الزعترية)التيموس(هى عضو ينتمى إلى الجهاز الصماء، والجهاز
اللمفاوى، والجهاز المناعى. هى عضو ذو فصين يقع بين عظم القص
وقوس الأبهر فى المنصف العلوى. تؤوى الخلايا التائية النامية.

الشكل 21.9 علم الأنسجة لنخاع العظم الأحمر. العناصر المشكلة للدم تصنع
ط عبر الخلايا البطانية إلى الجيوب، التى تلتقى فى وريد طولى مركزى
فى الأسفل إلى اليسار.

الشكل 21.8 عقد لمفاوية فى الغشاء المخاطى للأمعاء الدقيقة. هذه الع
قد هى جزء من النسيج اللمفاوى المرتبط بالغشاء المخاطى)MALT(.

دينيس ستريت

فى بعض الأماكن، تتجمع الخلايا اللمفاوية والبلعميات فى كتل
كثيفة تسمى العقد اللمفاوية)البصيلات( )الشكل 21.8(، التى تظهر
وتختفى مع غزو مسببات الأمراض للأنسجة واستجابة الجهاز المناعى
للتحدى. ومع ذلك، فإن وجود العقد اللمفاوية بكثرة هو سمة ثابتة ن
سبياً فى العقد اللمفاوية)انظر الشكل 21.11(، واللورتين، والزائدة الد
ودية. فى اللفائفى، الجزء البعيد من الأمعاء الدقيقة، تشكل هذه العقد
مجموعات تسمى العقد اللمفاوية المجمعة)المعروفة سابقاً باسم
بقع باير(.

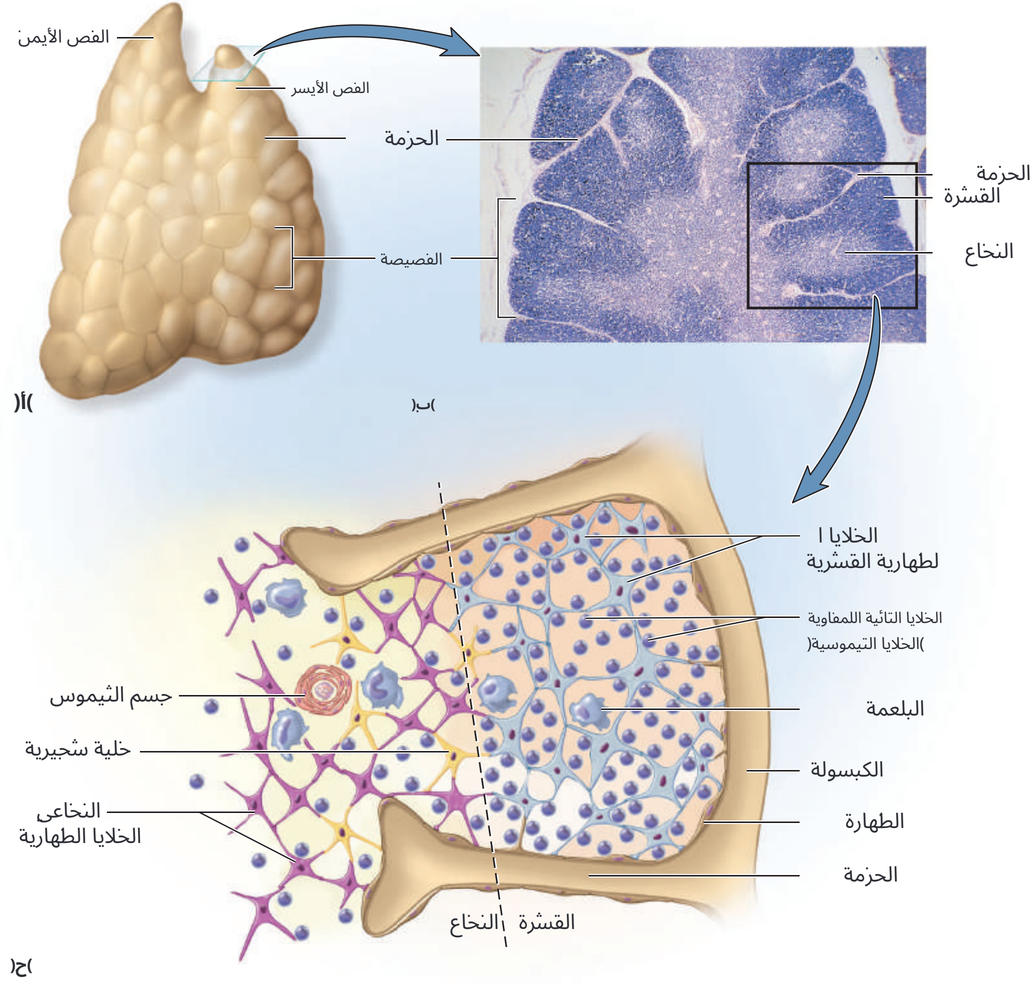
21.1e الأعضاء اللمفاوية

على عكس النسيج اللمفاوى المنتشر، تمتلك الأعضاء اللمفاوية مواق
ع تشريحية محددة جيدًا وقبعة نسيج ضام جزئية على الأقل تفصل ال
نسيج اللمفاوى عن الأنسجة المجاورة. تشمل هذه الأعضاء نخاع العظ
م الأحمر، الغدة الزعترية، العقد اللمفاوية، اللورتين، والطحال. يُعتبر نخ
اع العظم الأحمر والغدة الزعترية أعضاء لمفاوية أولية لأنهما المواقع ال
تى تصبح فيها الخلايا اللمفاوية B وT، على التوالى، ذات كفاءة مناعية
— أى قادرة على التعرف على المستضدات والاستجابة لها. تُسمى ا
لعقد اللمفاوية، اللورتين، والطحال أعضاء لمفاوية ثانوية لأن الخلايا ا
للمفاوية ذات الكفاءة المناعية تهاجر إلى هذه الأعضاء فقط بعد نضوج
ها فى الأعضاء اللمفاوية الأولية.

نخاع العظم الأحمر

هناك نوعان من نخاع العظم: الأصفر والأحمر. نخاع العظم الأصفر هو
فى الغالب نسيج دهنى ويمكن تجاهله للأغراض الحالية، لكن نخاع ا
لعظم الأحمر يشارك فى تكوين الدم)تكوين الدم(والمناعة. عند الأط
فال، يشغل الفراغات النخاعية فى معظم العظام تقريبًا. أما عند البالغ
ين، فهو محدود فى الهيكل العظمى المحورى ورؤوس عظم العضد وا
لفخذ القريبة)انظر الشكل 7.6(. ينتج نخاع العظم الأحمر جميع فئات ا
لعناصر المشكلة للدم؛ ولونه الأحمر ناتج عن وفرة كريات الدم الحمراء.

إنه مورد مهم للخلايا اللمفاوية لجهاز المناعة.
قد لا يبدو نخاع العظم الأحمر كعضو؛ فعند سحبه من العظام لغر
ض الخزعة أو النقل، يبدو ببساطة كدم سميك جدًا. ومع ذلك، يُظهر ا
لفحص المجهرى الدقيق للنخاع السليم أنه يحتوى على درجة مدهشة
من البنية ويتكون من أنسجة متعددة، مما يفى بمعايير العضو، حتى
لو كان نسيجًا ناعمًا جدًا.



APR الشكل 21.10 الغدة الزعترية.)أ(التشريح العام.)ب(علم الأنسجة.)ح(البنية الخلوية للفص.

ب: دينيس ستريت/ماكجرو هيل

تُسمى *أجسام زعترية*، والتى قد تلعب دورًا فى *التسامح الذاتى* للجه از المناعى)الامتناع عن مهاجمة أنسجة الجسم الخاصة(. وهى مفيدة لتحديد الغدة الزعترية نسيجيًا.

تفرز الخلايا الطهارية فى الغدة الزعترية عدة جزيئات إشارية تعزز تطور وعمل الخلايا التائية محليًا)كعوامل باراكرينية(وجهازيًا)كهرمونا ت(؛ وتشمل هذه الثايموسين، الثايموبويتين، الثايمولين، الإنترلوكينا ت، والإنترفيرون. إذا أزيلت الغدة الزعترية من الثدييات حديثة الولادة ، فإنها لا تطور مناعة نشطة أبدًا، بل تضعف وتموت سريعًا. كما يبدو أ ن الأعضاء اللمفاوية الأخرى تعتمد على الثايموسينات أو الخلايا التائي ة وتتطور بشكل ضعيف فى الحيوانات التى أزيلت منها الغدة الزعترية . سيناقش دور الغدة الزعترية فى تطور الخلايا التائية لاحقًا.

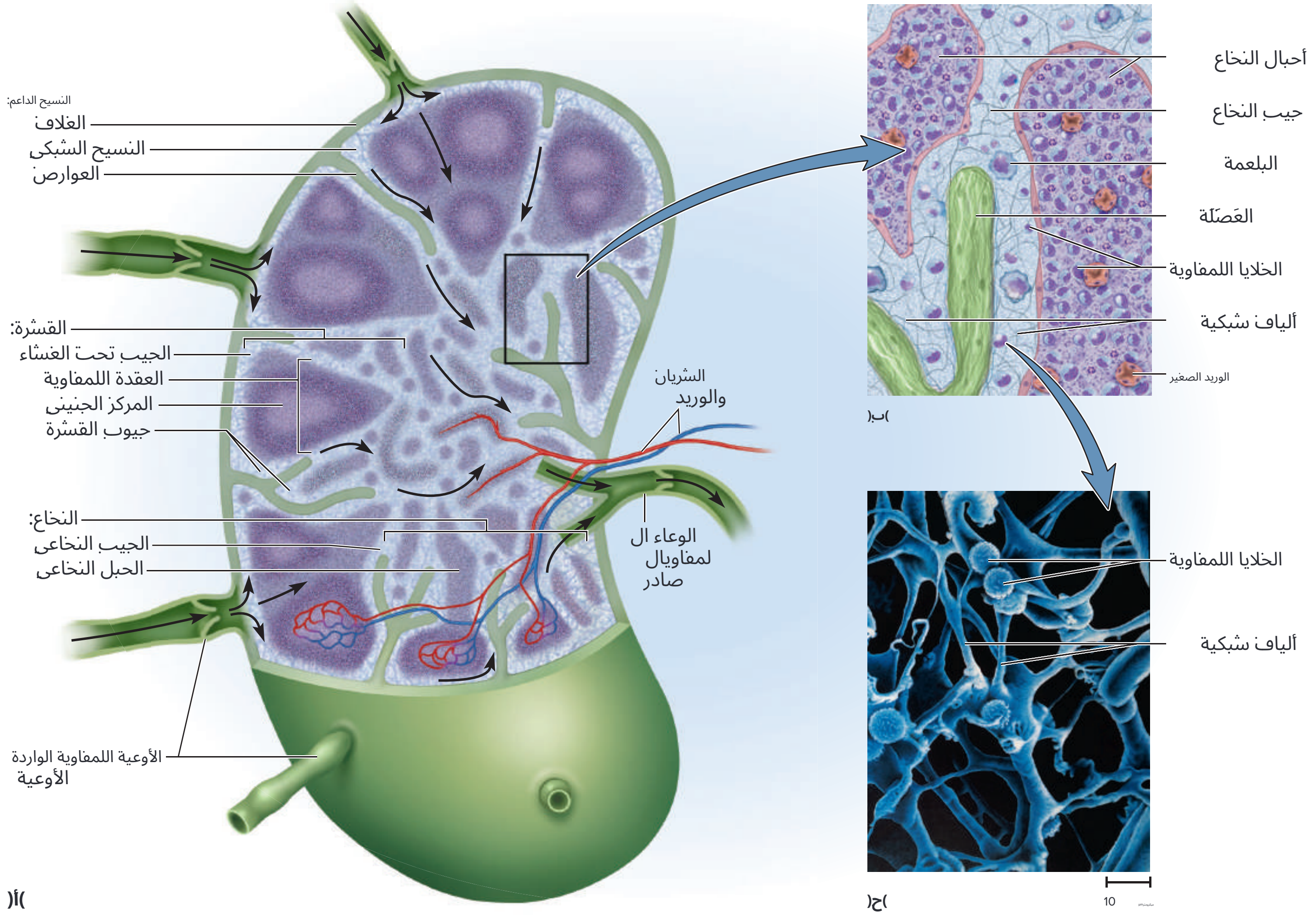
العقد اللمفاوية

العقد اللمفاوية)الشكل 21.11(هى أكثر الأعضاء اللمفاوية عدداً، حي ث يبلغ عددها حوالى 450 فى البالغ النموذجى. وتؤدى وظيفتين: تنق ية اللمف والعمل كموقع لتنشيط خلايا T وخلايا B)الخلايا اللمفاوية B(. العقدة اللمفاوية هى بنية ممدودة أو على شكل حبة الفول، عادةً أق ل من 3 سم طولاً، وغالباً ما تحتوى على انبعاج يسمى الهيلوم على جا نب واحد. وهى محاطة بكبسولة ليفية تحتوى على حواجز تفصل جزئ ياً داخل العقدة إلى حجرات.

بين الكبسولة والبرنشيم مساحة ضيقة وواضحة نسبياً تسمى الجيب تحت الكبسولى، والتى تحتوى على ألياف شبكية،

)الخلايا التائية اللمفاوية(وتفرز هرمونات تنظم نشاطها لاحقًا. تظهر ال غدة الزعترية درجة ملحوظة من الانحلال)التحلل والانكماش(مع التق دم فى العمر، كما وُصف وتم توضيحه سابقًا)انظر الشكل 17.8(. بحلو ل عمر 65 عامًا، يصبح الشخص غير قادر عمليًا على إنتاج خلايا تائية جديدة. الحالة الناتجة من الشيخوخة المناعية تجعل كبار السن أكثر ع رضة للإصابة بالعدوى والسرطان، وتُظهر استجابات أضعف للتطعيم.

الكبسولة الليفية للغدة الزعترية تُصدر الحواجز)الحواجز(التى تق سم الغدة إلى عدة فصوص زاويّة. يحتوى كل فص على نخاع مركزى فاتح)النخاع(يكتظ بالخلايا التائية، محاط بقشرة كثيفة وأعمق)القشرة( )الشكل 21.10(. تحتوى كل من القشرة والنخاع على شبكة م تفرعة من الخلايا الطهارية المترابطة التى تلعب أدوارًا مهمة فى تطور الخلايا التائية كما سيناقش لاحقًا؛ تختلف أدوارها فى المنطقتين، لذا تُوصف بشكل منفصل كـ خلايا طهارية قشرية و خلايا طهارية نخاع ية. فى القشرة، تحيط الخلايا الطهارية القشرية والخلايا المحيطة بالش عيرات الدموية)الخلايا المحيطة بالشعيرات( )انظر الشكل 20.5أ(با لشعيرات الدموية وتشكل حاجز الدم-الزعتر ، الذى يعزل الخلايا اللم فاوية النامية عن التعرض المبكر لمستضدات الدم. بعد التطور فى ال قشرة، تهاجر الخلايا التائية إلى النخاع، حيث تقضى هناك 3 أسابيع أخ رى. لا يوجد حاجز دم-زعتر فى النخاع؛ تدخل الخلايا التائية الناضجة الأ وعية الدموية أو اللمفاوية هنا وتغادر الغدة الزعترية. بعض الخلايا الطه ارية النخاعية مرتبة فى دوامات متقرنة



الشكل 21.11 تشريح العقدة اللمفاوية.)أ(عقدة لمفاوية مقطوعة جزئياً تُظهر مسار تدفقَ اللمفَ.)ب(تفصيل للمنطقة المؤطرة فى الجزء)أ(.)ج(نسيج أ لياف شبكية وخلايا مناعية فى جيب نخاعى)المجهر الإلكترونى الماسح(.

ج: فرانسيس ليروى، Biocosmos/Science Source

الشوائب قبل أن يغادر اللمفَ العقدة. فى طريقه إلى مجرى الدم، يتد فقَ اللمفَ عبر عقد لمفاوية واحدة تلو الأخرى وبالتالى يصبح منقى تم امًا من الشوائب.

تخترق الأوعية الدموية أيضًا الهيلوم. تتبع الشرايين الحبال النخاع ية وتعطى نشوء أسرّة شعيرية فى النخاع والقشرة. فى *القشرة العمي قة* بالقرب من التقاطع مع النخاع، تهاجر الخلايا اللمفاوية من مجرى ا لدم إلى نسيج العقدة. معظم الخلايا اللمفاوية فى القشرة العميقة هى خلايا T.

العقد اللمفاوية منتشرة على نطاق واسع لكنها تتركز بشكل خا ص فى المواقع التالية)انظر الشكل 21.1 لمحة عامة(:

- *العقد اللمفاوية العنقية* توجد فى مجموعات عميقة وسطحية ف ى الرقبة، وتراقب اللمفَ القادم من الرأس والرقبة.
- *العقد اللمفاوية الإبطية* تتركز فى الإبط)الإبط(وتستق بل اللمفَ من الطرف العلوى، والثدى، وجدار الجسم)انظر ال شكل 21.5ب(.
- *العقد اللمفاوية الصدرية* توجد فى تجويف الصدر، خاصة فى المنصف، وتستقبل اللمفَ من المنصف والرئتين والمج ارى التنفسية.
- *العقد اللمفاوية البطنية* توجد فى الجدار الخلفى للبطن والحوض وتستقبل اللمفَ من الجهازين البولى والتناسلى.

البلعميات، والخلايا التغصنية. عميقاً إلى ذلك، تتكون الغدة بشكل رئ يسى من دعامة من النسيج الضام الشبكى وبرنشيم من الخلايا اللمفا وية والخلايا المقدمة للمستضد.

ينقسم البرنشيم إلى قشرة خارجية على شكل حرف C تحيط بحوا لى أربعة أخماس العضو، ونخاع داخلى يمتد إلى السطح عند الهيلوم. تتكون القشرة بشكل رئيسى من عقيدات لمفاوية بيضاوية إلى مخرو طية الشكل. عندما تقاتل العقدة اللمفاوية مسبب مرض، تكتسب ه ذه العقيدات مراكز جرثومية فاتحة الصبغة حيث تتكاثر خلايا B وتتحو ل إلى خلايا بلازمية.

يتكون النخاع إلى حد كبير من شبكة متفرعة من الحبال النخاعية المك ونة من الخلايا اللمفاوية، والخلايا البلازمية، والبلعميات، والخلايا الش بكية، والألياف الشبكية. تحتوى القشرة والنخاع أيضاً على جيوب مملو ءة باللمف متصلة بالجيب تحت الكبسولى.

تدخل عدة أوعية لمفاوية واردة إلى العقدة على سطحها المحدب. يتدفقَ اللمفَ من هذه الأوعية إلى الجيب تحت الكبسولى، ويتخلل ببطء عبر جيوب القشرة والنخاع، ويخرج من العقدة عبر واحد إلى ثلاثة أوعية لمفاوية صادرة تخرج من الهيلوم. لا تمتلك أى أعضاء لمفاوية أ خرى أوعية لمفاوية واردة؛ فالعقد اللمفاوية هى الأعضاء الوحيدة التى تقوم بتصفية اللمفَ أثناء تدفقه. العقدة اللمفاوية هى عنق زجاجة ى بطئُ تدفقَ اللمفَ ويسمح بوقت لتنقيته من المواد الغريبة.

تقوم البلعميات والخلايا الشبكية فى الجيوب بإزالة حوالى 99% من

العقد اللمفاو
ية المسارى
قية العرضية

القولون

الشريان ا
لمساريقى ا
لعلوى

الأعلى
العقد اللمفاوية
المساريقية العليا

الشريان
المساريقى ا
لسفلى

العقد اللمفاوية اللفائفية القولونية
العقد اللمفاوية

العقد ال
لمفاوية المسا
ريقية السفلية

الأمعاء الدقيقة
الأمعاء الدقيقة

الزوائد
العقد اللمفاوية

الزائدة الدودية

(أ)

العضلة المائلة الد
اخلية

الوريد فوق
السرى السطحى

العصب الفخذى

العقد اللم
فاوية الإ
ربية السطحية

الوريد الفخذى

الشريان الفخذى ا
لعميق

الشريان الفخذى

الوريد الصافن الك
بير

عصلة السرتوريوس

(ب)

الشكل 21.12 بعض مناطق تركز العقد اللمفاوية. (أ) العقد اللمفاوية المساريقية المرتبطة بالأمعاء الغليظة. APR (ب) العقد اللمفاوية الأربية فى منطقة الفخذ لجثة أنثى.

ب: ريبيكا غراى/دون كينكيد/ماكجرو هيل

- *العقد اللمفاوية الأربية* توجد فى منطقة الفخذ (الشكل 21.12ب) وتستقبل اللمف من الطرف السفلى بأكمله.
- *العقد اللمفاوية خلف الركبة* توجد فى الجزء الخلفى من الركبة وتستقبل اللمف من القدم والساق.
- *العقد اللمفاوية المعوية والمساريقية* توجد فى المساريق (الشكل 21.12أ) وبالقرب من الزائدة الدودية والأمعاء؛ تستقبل اللمف من الجهاز الهضمى.

اللوزتان

اللوزتان هما رقع من النسيج اللمفاوي تقع عند مدخل البلعوم، حيث تحمى من مسببات الأمراض التى تُبتلع أو تُستنشق. كل واحدة مغطاة بطبقة طلائية ولها حفر عميقة تسمى تجاويف اللوزة مبطنة بعقد لمفاوية)الشكل 21.13(.
غالبًا ما تحتوى التجاويف على بقايا طعام، كريات دم بيضاء ميتة، بكتيريا، ومواد مستضدية كيميائية. تحت التجاويف، تُفصل اللوزتان جزئيًا عن النسيج الضام الأساسى بواسطة كبسولة ليفية غير مكتملة.

هناك ثلاث مجموعات رئيسية من اللوز:)1(لوزة بلعومية وسطى واحدة)اللحمية(على جدار البلعوم خلف التجويف الأنفى مباشرةً؛)2(زوج من اللوز الحنكية على الحافة الخلفية لتجويف الفم؛ و)3(العديد من اللوز اللسانية كل منها يحتوى على تجويف واحد، تتركز فى رقع مدمجة على جانبى جذر اللسان)انظر الشكل 25.5أ(.

اللوز الحنكية هى الأكبر والأكثر عرضة للعدوى.
التهاب اللوزتين هو التهاب حاد فى اللوز الحنكية، عادةً ينجم عن عدوى فيروسية أو بكتيرية. إزالة اللوزتين جراحيًا، المعروفة باسم *استئصال اللوزتين* كانت من أكثر الإجراءات الجراحية شيوعًا التى تُجرى للأطفال، لكنها أصبحت أقل شيوعًا اليوم. يُعالج التهاب اللوزتين عادةً بالمضادات الحيوية.

الطحال

الطحال هو أكبر عضو لمفاوى فى الجسم، يبلغ طوله حتى 12 سم ويزن عادةً حوالى 150 جرامًا. يقع فى المنطقة تحت الضلعية اليسرى، أسفل الحجاب الحاجز مباشرةً وخلفى جانبى للمعدة)الشكل 21.14؛ انظر أيضًا الأطلس ب، الشكل ب.6(. تحميه الأضلاع من 10 إلى 12. يتناسب الطحال بشكل محكم بين

عندما يتعرض العقد اللمفاوى لتحدٍ من قبل مستضد، قد يتورم ويصبح مؤلمًا عند اللمس — وهى حالة تسمى التهاب العقد اللمفاوية[3])ليم-فاد-إن-آى-تس(. يقوم الأطباء عادةً بفحص العقد اللمفاوية المتاحة فى مناطق الرقبة والإبط والفخذ للتحقق من التورم. المصطلح الجماعى لجميع أمراض العقد اللمفاوية هو اعتلال العقد اللمفاوية[4])ليم-فاد-إه-نوب-أثى(. العقد اللمفاوية هى مواقع شائعة لسرطان النقائل)انظر التعمق 21.2(.



نظرة أعمق 21.2

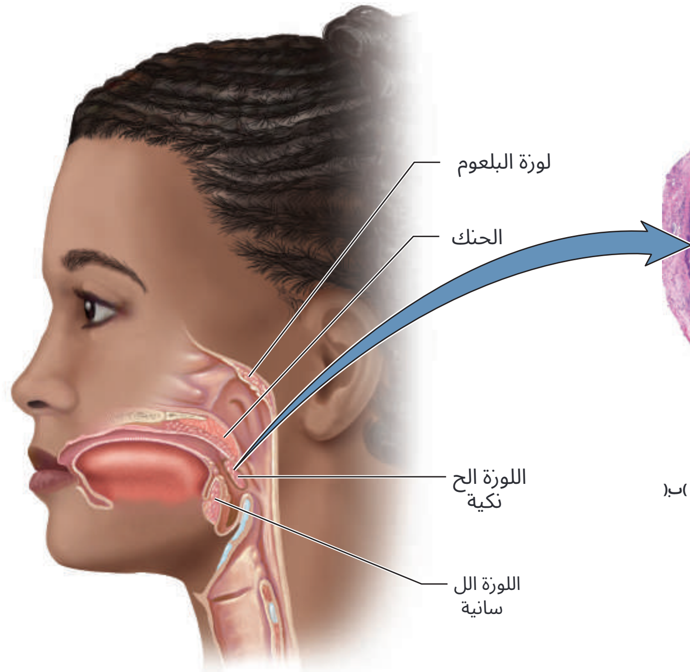
تطبيق سريرى

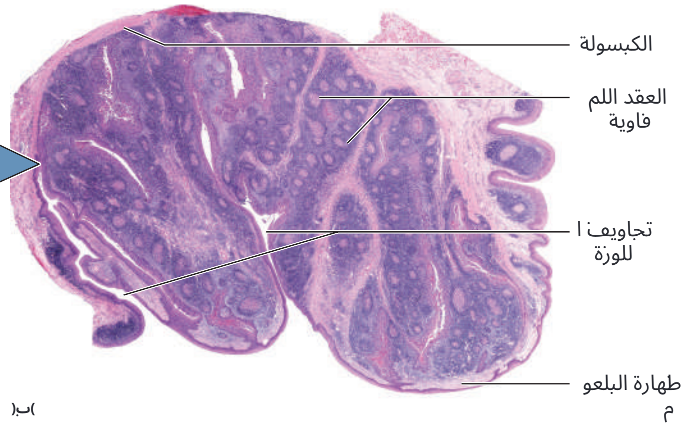
العقد اللمفاوية والسرطان المنتشر

الانتشار هو ظاهرة تنفصل فيها الخلايا السرطانية عن الورم الأولى الأصلى، وتسافر إلى مواقع أخرى فى الجسم، وتؤسس أورامًا جديدة)انظر الشكل 4.22(. بسبب النفاذية العالية للشعيرات اللمفاوية، تدخل بعض الخلايا السرطانية المنتشرة بسهولة إليها وتسافر فى اللمف. تميل إلى الاستقرار فى أول عقدة لمفاوية تصادفها وتتكاثر هناك، مما يؤدى فى النهاية إلى تدمير العقدة. العقد اللمفاوية السرطانية تكون منتفخة لكنها صلبة نسبيًا وعادةً غير مؤلمة.

بمجرد أن يستقر الورم جيدًا فى عقدة واحدة، قد تهاجر الخلايا من هناك وتسافر إلى العقدة التالية. ومع ذلك، إذا تم اكتشاف الانتشار فى وقت مبكر بما فيه الكفاية، يمكن فى بعض الأحيان القضاء على السرطان عن طريق إزالة ليس الورم الأولى فقط، بل أيضًا أقرب العقد اللمفاوية الواقعة فى مسار التدفق من تلك النقطة. على سبيل المثال، غالبًا ما يُعالج سرطان الثدى بمزيج من استئصال الورم أو استئصال الثدى مع إزالة العقد اللمفاوية الإبطية القريبة.

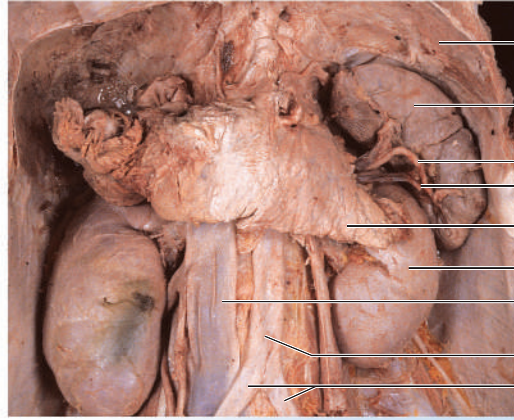
[3] *lymph* = ماء؛ *adeno* = غدة؛ *itis* = التهاب
[4] *lymph* = ماء؛ *adeno* = غدة؛ *pathy* = مرض

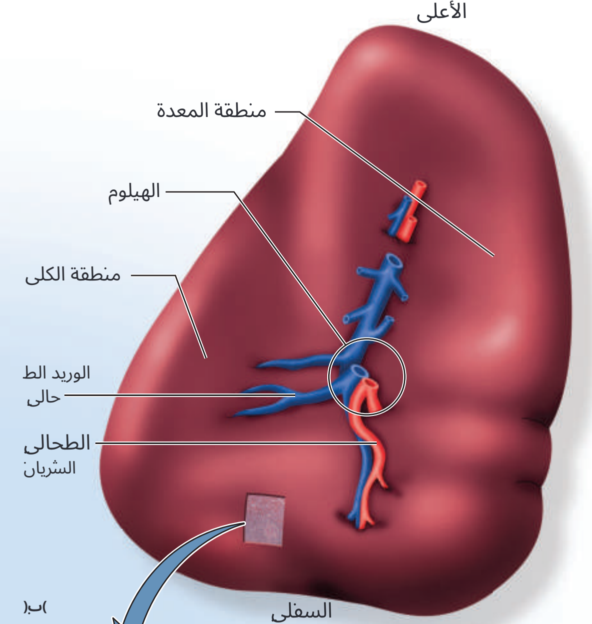


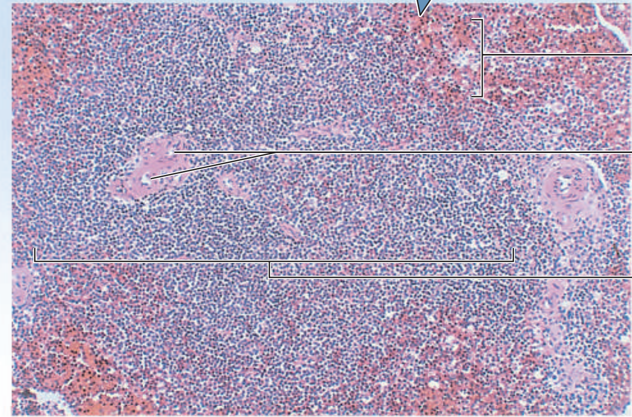


APR الشكل 21.13 اللوزتان.)أ(مواقع اللوزتين.)ب(علم الأنسجة للوزة الحنكية.

ب: خوسيه لويس كالفو / شترستوك







الشكل 21.14 الطحال.)أ(موقع الطحال فى الربع العلوى الأيسر من تجويف البطن.)ب(التشريح العام للسطح الوسيط.
)ح(علم الأنسجة. يُسمى اللب الأبيض بسبب مطهره فى الطحال الطازج؛ فى هذه الصورة، تم تلوينه باللون البنفسجى بواسطة صبغة نسيجية ذات ميل للنوى الخلوية. APR

ما هى الخلايا التى تفسر الألوان المختلفة للب الأحمر واللب الأبيض؟

أ، ح: دينيس ستريت/ماكجرو هيل

الحجاب الحاجز، المعدة، والكلى ولها انطباعات تسمى المنطقة المعدية والمنطقة الكلوية حيث تضغط على هذه الأحشاء المجاورة.لها هيلوم وسطى يخترقه الشريان الطحالى، الوريد الطحالى، والأوعية اللمفاوية.

يُظهر النسيج الرئيسى نوعين من الأنسجة مسماة حسب مظهرها فى العينات الطازجة)وليس فى المقاطع الملونة(: اللب الأحمر، الذى يتكون من تجاويف محشوة بكريات دم حمراء مركزة؛ واللب الأبيض، الذى يتكون من الخلايا اللمفاوية والبلعميات المتجمعة كأكمام على طول فروع صغيرة من الشريان الطحالى.

فى مقاطع الأنسجة، يظهر اللب الأبيض ككتلة بيضاوية من الخلايا اللمفاوية يمر من خلالها شريان صغير. ومع ذلك، الشكل الثلاثى الأبعاد ليس بيضويًا بل أسطوانى.

تعكس هذان النوعان من الأنسجة الوظائف المتعددة للطحال. شعيرات دمه مسامية جدًا؛ تسمح لخلايا الدم الحمراء)RBCs(بالخروج من مجرى الدم، والتجمع فى تجاويف اللب الأحمر، ثم العودة إلى مجرى الدم لاحقًا. الطحال هو "مقبرة كريات الدم الحمراء" — حيث تظهر خلايا الدم الحمراء القديمة والهشة أضرارًا أكسدة فى غشاء البلازما الخاص بها، مما يمكن البلعميات من التعرف عليها وابتلاعها، وإزالتها من الدورة الدموية تمامًا كما تتخلص من البكتيريا المحمولة فى الدم والحطام الخلوى الآخر.

ينتج الطحال خلايا الدم فى الجنين ويمكنه استئناف هذا الدور فى البالغين فى حالة فقر الدم الشديد. تراقب الخلايا اللمفاوية والبلعميات فى اللب الأبيض الدم بحثًا عن مستضدات أجنبية، تمامًا كما تفعل العقد اللمفاوية مع اللمف.

الطحال هو أيضًا مخزون لـ "جيش دائم" كبير من الخلايا الوحيدة، تنتظر فى حالة استعداد طارئ. فى حالات مثل العدوى الميكروبية، احتشاء عضلة القلب، أو الجروح العميقة، يحفز الأنجيوتنسين II الطحال لإطلاق أعداد كبيرة من الخلايا الوحيدة إلى مجرى الدم. بعد انتشارها واستعمارها لأعضاء أخرى، تتحول الخلايا الوحيدة إلى بلعميات وتساعد فى مكافحة الممرضات وإصلاح الأنسجة التالفة. كما يساعد الطحال فى استقرار حجم الدم عن طريق نقل البلازما الزائدة من مجرى الدم إلى الجهاز اللمفاوى.

الطحال غنى بالأوعية الدموية وعرضة للإصابات والعدوى. يمكن أن يؤدى تمزق الطحال إلى نزيف قاتل، لكنه يصعب إصلاحه جراحياً. لذلك، كان الإجراء الشائع فى مثل هذه الحالات هو استئصاله، *استئصال الطحال*. يمكن للشخص أن يعيش بدون طحال، لكن الأشخاص الذين خضعوا لاستئصال الطحال يكونون أكثر عرضة للإنتان، والعدوى الأخرى، والوفاة المبكرة. مثل استئصال اللوزتين، يتم الآن إجراء استئصال الطحال بشكل أقل شيوعًا مما كان عليه فى السابق.

الدفاعات تشمل الكريات البيضاء والبلعميات، والبروتينات المضادة للميكروبات، وخلايا القاتل الطبيعي، والحمى، والالتهاب.

3. الخط الثالث من الدفاع هو المناعة التكيفية، وهي مجموعة من ا لآليات التي لا تهزم المسبب المرضي فقط، بل تترك للجسم ذاكرة ع نه، مما يمكن الشخص من هزيمته بسرعة في المواجهات الم ستقبلية بحيث لا يسبب المسبب المرضي أي مرض.

تشكل هذه الدفاعات مجتمعة نظام المناعة، الذي ليس نظامًا ع ضويًا بل يتكون من مجموعة واسعة التوزيع من الخلايا التي تسكن تقر يبًا كل عضو من أعضاء الجسم؛ والمواد الكيميائية المتنوعة التي تنتج ها لتحييد وتدمير مسببات الأمراض؛ والحواجز الفيزيائية ضد الغزو م ثل الجلد والأغشية المخاطية؛ والعمليات الفسيولوجية مثل الحمى وا لالتهاب.

تنقسم آليات دفاعنا إلى شكلين رئيسيين يُطلق عليهما المناعة ا لفطرية والمناعة التكيفية. تتكون المناعة الفطرية من الدفاعات التي نولد بها (ومن هنا جاءت تسميتها بالفطرية) والتي تحمينا من طيف و اسع من العوامل الممرضة؛ وتشمل الخطين الأول والثاني من الدفاع كما تم وصفهما للتو. بالمقابل، تشكل المناعة التكيفية الخط الثالث م ن الدفاع وتتميز بقدرتها على الذاكرة المناعية. فهي تُكيف الجسم مع وجود المسبب المرضي بحيث نصبح أقل عرضة للمرض الذي قد ى سببه.

للمناعة الفطرية ثلاث خصائص تميزها عن المناعة التكيفية:

1. هي تأثير محلي في معظم الحالات، حيث تردع المسبب المر ضي عند نقطة الغزو (مثل الحكة والالتهاب الناتج عن الطفح ا لجلدي أو لدغة البعوض) مع تأثير قليل في أماكن أخرى. الحمى ا ستثناء، إذ لها تأثير جهازي (يشمل الجسم بأكمله).
2. هي غير محددة. كل آلية من آليات المناعة الفطرية، مثل الحاجز الفيزيائي للجلد والتأثير المضاد للفيروسات للحمى، تعمل ضد طيف واسع من العوامل الممرضة، وليس ضد مسبب مرض ي معين. ولهذا السبب كانت المناعة الفطرية تُسمى سابقًا "الد فاع غير المحدد".
3. إنه يفتقر إلى الذاكرة لأي تعرض سابق لممرض، لذلك ليس من الأسهل هزيمة ذلك الممرض في التعرضات اللاحقة مما كان عليه في المرة الأولى.

يعتمد جزء كبير من مناعتنا الفطرية على ثلاثة أنواع أساسية من ا لدفاع: (1) *البروتينات الوقائية* مثل الكيراتين، الإنترفيرونات، والمتمم ؛ (2) *الخلايا الوقائية* مثل العدلات والبلعميات الكبيرة؛ و(3) *العمليا ت الوقائية* مثل الحمى والالتهاب. سنستعرض هذه في الأقسام القلي لة القادمة.

21.2أ الحواجز الخارجية

خط دفاعنا الأول هو الجلد والأغشية المخاطية—الحواجز الفيزيائية أما م غزو الميكروبات. عندما يتعرض الجلد للكسر بسبب خدش أو عضة حيوان أو إصابة بحرق، فإن أحد أهم الأمور العلاجية العاجلة هو منع الع دوى. وهذا يدل على أهمية الجلد السليم كحاجز. يتكون سطحه بشكل رئيسي من الكيراتين، وهو بروتين قوي لا يمكن لمعظم الممرضات اخ تراقه.

علاوة على ذلك، مع استثناءات مثل منطقتي الإبط والعانة، فإن الجلد ح اف جدًا وفقير في العناصر الغذائية بحيث لا يدعم نموًا ميكروبيًا كبيرًا.

[6] *immuno* = free

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

1. اذكر الوظائف الأساسية للجهاز اللمفاوي. ما هو التأثير الأكثر وضوحًا في رأيك إذا تم إغلاق القناة اللمفاوية اليمنى؟
2. كيف يدخل السائل إلى الأوعية اللمفاوية؟ وما الذي يمنع عو دته إلى الخارج؟
3. ما القاسم المشترك بين خلايا NK وT وB؟ وكيف تختلف وظائفها؟
4. اذكر خمسة أنواع رئيسية من خلايا الأنسجة اللمفاوية ووضح وظيفة كل منها.
5. توقع مدى خطورة إزالة الأعضاء التالية من طفل عمره سنتان: (أ) ع قدة لمفاوية، (ب) الطحال، (ج) الغدة الزعترية (التيموس)، (د) ال لوزتين الحنكية.

21.2 المناعة الفطرية

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. عرف العامل الممرض و الجهاز المناعي؛
ب. تحديد خطوط الدفاع الثلاثة للجسم ضد الممرضات؛
ج. المقارنة بين المناعة الفطرية والمكتسبة؛
د. وصف الوظائف الدفاعية لأنواع مختلفة من الكريات البيضاء والبلعميات؛
هـ. وصف الأدوار المناعية للإنترفيرونات ونظام المتمم؛
و. شرح كيف يلعب الحمى دورًا وقائيًا ضد الممرضات؛ و
ز. وصف عملية الالتهاب وشرح ما يفسر علامات الالتهاب الأسا سية.

بالنسبة لجميع الكائنات الحية، فإن أحد أكبر تحديات البقاء هو التعامل مع ا لممرضات[5]— الفيروسات، والبكتيريا، والفطريات، وغيرها من الميكروبات ا لتي تسبب الأمراض. ومع ذلك، يجب على الجسم أيضًا أن يدافع عن نفسه من العوامل الممرضة غير الحية مثل سم اللبلاب السام والمواد الكيميائية ا لمسببة للحساسية في الطعام ومستحضرات التجميل وقفازات اللاتكس.

يمكننا التفكير في الجسم على أنه يمتلك ثلاثة خطوط دفاع ضد هذه التهديدات البيئية، على الرغم من وجود تفاعل واسع النطاق بينها بحيث لا يمكن فصلها تمامًا أو اعتبارها مستقلة:

1. الخط الأول من الدفاع يتكون من الحواجز الطهارية، ولا سيما الج لد والأغشية المخاطية، التي لا يمكن اختراقها من قبل معظم م سببات الأمراض التي تهاجمنا يوميًا.
2. الخط الثاني من الدفاع يتكون من الحمايات ضد مسببات الأم راض التي تخترق تلك الحواجز الخارجية. هذه

[5] *patho* = مرض، معاناة؛ *gen* = إنتاج

فك الكروماتين النووى لديها وإخراج شبكة لزجة تتكون أساسًا من DNA والهيستونات من الخلية. تُسمى هذه الشبكة فخ العدلات خارج الخلية)NET(، التى تحاصر وتقتل الميكروبات. الآلية الثالثة هى عملية أكثر تعقيدًا تنتج سحابة من المواد الكيميائية القاتلة للبكتيريا. عندما تكتشف العدلة وجود بكتيريا فى المنطقة المحيطة، تتحرك الليسوزومات إلى سطح الخلية وتقوم بـ *إفراز محتوياتها*، أو إطلاق إنزيماتها فى سائل النسيج. هنا، تحفز الإنزيمات تفاعلًا يُسمى الطفرة التنفسية: يمتص العدّل)النيتروفيل(الأكسجين بسرعة ويقلله إلى أنيونات فوق أكسيد)O_2^-(، التى تتفاعل مع H^+ لتكوين بيروكسيد الهيدروجين)H_2O_2(. ينتج إنزيم ليزوزومى آخر هيبوكلوريت)HClO(، وهو المكون الفعال فى مبيض الكلور، باستخدام أيونات الكلوريد فى سائل النسيج. فوق أكسيد، بيروكسيد الهيدروجين، والهيبوكلوريت هى مواد شديدة السمية؛ فهى تُشكل منطقة قتل كيميائية حول العدّل تدمر بكتيريا أكثر بكثير مما يمكن للعدّل تدميره عن طريق البلعمة وحدها. للأسف بالنسبة للعدّل، فإنه يُقتل أيضًا بواسطة هذه المواد الكيميائية. يمكن لهذه العوامل المؤكسدة القوية أن تُلحق الضرر بالأنسجة الضامة وأحيانًا تساهم فى التهاب المفاصل الروماتويدى. كما أن الشبكات الخارجية للعدّل)NETs(أحيانًا لها تأثيرات ضارة على أنسجة الشخص نفسه وقد تساهم فى أمراض المناعة الذاتية مثل النقرس، الصدفية، والذئبة.

2. توجد الحمضات)Eosinophils(بشكل خاص فى الأغشية المخاطية، حيث تقوم بالحراسة ضد الطفيليات، ومسببات الحساسية)المستضدات المسببة للحساسية(، وأعداء آخرين. تتجمع بشكل خاص فى مواقع الحساسية، والالتهاب، أو العدوى الطفيلية. تساعد فى قتل الطفيليات مثل الديدان الشريطية والديدان المستديرة، التى تكون كبيرة جدًا بحيث لا يمكن ابتلاعها)البلعمة(، من خلال إنتاج الأكسيد الفائق، وبيروكسيد الهيدروجين، ومجموعة متنوعة من البروتينات السامة بما فى ذلك سم عصبى يشل الديدان الطفيلية. كما تعزز هذه العوامل عمل القعدات)Basophils(وخلايا البدينة)mast cells( )انظر الفقرة التالية(. تقوم الحمضات بابتلاع وتحليل مركبات المستضد-الأجسام المضادة. وأخيرًا، تفرز إنزيمات تقوم بتحليل وتقييد عمل الهيستامين والمواد الكيميائية الالتهابية الأخرى التى، إذا لم تُكبح، قد تسبب تلف الأنسجة.

3. تفرز القعدات)Basophils(مواد كيميائية تساعد على حركة وعمل الكريات البيضاء الأخرى: الليكوترينات)leukotrienes(التى تنشط وتجذب العدلات)neutrophils(والحمضات)eosinophils(؛ الهيستامين)histamine(الموسع للأوعية الدموية، الذى يزيد من تدفق الدم ويسرع توصيل الكريات البيضاء إلى المنطقة؛ والهيبارين)heparin(المضاد للتخثر، الذى يمنع تجلط الدم الذى قد يعيق حركة الكريات البيضاء. كما تنتج هذه المواد أيضًا خلايا البدينة)mast cells(، وهى نوع من خلايا النسيج الضام تشبه القعدات. تعزز الحمضات عمل القعدات وخلايا البدينة من خلال تحفيزها على إفراز هذه المواد.

٤. تبدو اللمفاويات)Lymphocytes(متشابهة إلى حد ما فى شرائح الدم، لكن هناك عدة أنواع وظيفية. تم ذكر ثلاث فئات أساسية بالفعل: الخلايا القاتلة الطبيعية)NK(، والخلايا التائية)T cells(، والخلايا البائية)B cells(. فى الدم المتداول، حوالى ٨٠٪ من اللمفاويات هى خلايا تائية، و١٥٪ خلايا بائية، و٥٪ خلايا قاتلة طبيعية وخلايا جذعية. أدوار هذه الأنواع من اللمفاويات متنوعة جدًا بحيث يصعب تعميمها هنا، لكنها موصوفة فى الأقسام اللاحقة عن الخلايا القاتلة الطبيعية والمناعة التكيفية. الخلايا القاتلة الطبيعية جزء من مناعتنا الفطرية، والبقية تعمل

حتى تلك الميكروبات التى تلتصق بالطبقة الخارجية للجلد تُطرح باستمرار مع تساقط خلايا الكيراتين الميتة على السطح.

كما يُغطى الجلد بمجموعة متنوعة من المواد الكيميائية المضادة للميكروبات.

يُغطى الجلد بالعرق والزهم بطبقة واقية تُسمى الغشاء الحمضى — وهى طبقة رقيقة من أحماض اللاكتيك والدهون التى تمنع نمو البكتيريا. يحتوى العرق أيضًا على ببتيد مضاد للبكتيريا يُسمى ديرميسيدين. كما تنتج خلايا الكيراتين، والعدلات، والبلعميات الكبيرة، وخلايا أخرى ببتيدات تُسمى الديفنسينات و الكاثيليسيديدينات[7] (ca-THEL-ih-SY-dins) التى تدمر البكتيريا والفيروسات والفطريات. تعزز هذه الدفاعات فيتامين د)الكالسيتريول(، مما يشير إلى فائدة التعرض المعتدل لأشعة الشمس لزيادة مقاومة الجسم للعدوى.)انظر الفصل 7 حول دور أشعة الشمس فى تخليق فيتامين د.(القنوات الهضمية، التنفسية، البولية، والتناسلية مفتوحة إلى الخارج، مما يجعلها عرضة للغزو، لكنها محمية بواسطة الأغشية المخاطية. يعلق المخاط اللزج الميكروبات فعليًا. تُحرك الأهداب الميكروبات المحاصرة فى مخاط الجهاز التنفسى إلى البلعوم، حيث تُبتلع وتُدمر بواسطة حمض المعدة. تُطرد الميكروبات من الجهاز الهضمى العلوى بواسطة اللعاب ومن الجهاز البولى السفلى بواسطة البول. يحتوى المخاط والدموع واللعاب أيضًا على الليزوزيم، وهو إنزيم يدمر البكتيريا عن طريق إذابة جدران خلاياها.

تحت طهارة الجلد والأغشية المخاطية توجد طبقة من النسيج الرخو. تحتوى المادة الأساسية فيها على جليكورأمينوجليكان ضخم يُسمى حمض الهيالورونيك (HI-ul-yur-ON-ic)، والذى يمنحها قوامًا لزجًا. من الصعب عادةً على الميكروبات أن تنتقل عبر هذه الهلامية اللزجة للنسيج. ومع ذلك، يتغلب بعض الممرضات على هذا الحاجز عن طريق إنتاج إنزيم يُسمى هيالورونيداز، الذى يكسرها إلى قوام أرق يسهل اختراقه. يوجد الهيالورونيداز فى بعض سموم الثعابين وسموم البكتيريا، وينتجه بعض الأوليات الطفيلية لتسهيل غزوها للأنسجة الضامة.

21.2ب الكريات البيضاء والبلعميات

من الواضح أن الجلد والأغشية المخاطية ليست حواجز منيعة. فهى تتعرض بشكل متكرر للجروح والخدوش والكدمات، وتُخترق يوميًا حتى من خلال أنشطة عادية مثل الحلاقة وتنظيف الأسنان. ولكن عندما تتجاوز الميكروبات هذه الحواجز الطهارية، يتم مهاجمتها بواسطة الخلايا البالعة)الخلايا البلعمية(التى لديها شهية نهمة للمواد الغريبة. تلعب الكريات البيضاء والبلعميات أدوارًا مهمة جدًا فى كل من المناعة الفطرية والمكتسبة، وبالتالى فى كل من خطى الدفاع الثانى والثالث.

الكريات البيضاء

تم توضيح ووصف الأنواع الخمسة للكريات البيضاء فى الجدول 18.6. سنقوم الآن بفحص مساهماتهم فى المقاومة والمناعة

بمزيد من التفصيل.

1. تقضى العدلات معظم حياتها فى التجوال داخل الأنسجة الضامة لقتل الميكروبات. لديها على الأقل ثلاث آليات لتدمير الممرضات المتنوعة مثل البكتيريا، الفطريات، والأوليات. الأولى هى ببساطة إحاطتها بأقدامها الكاذبة)انظر الشكل 3.12(وابتلاعها وهضمها بواسطة إنزيمات الليسوزوم. الآلية الثانية هى أن التلامس مع مثل هذه الميكروبات يحفز العدلات على

[7] catheli= شامل؛ cid = قتل؛ in = مادة، بروتين

يساهم نظام التكملة المنشط في تدمير الممرضات بأربع طرق: ا لالتهاب، إزالة المناعة، البلعمة، والتحلل الخلوي. سنستعرض مسارا ت التنشيط لفهم كيفية تحقيق كل من هذه الأهداف. هناك ثلاث طر ق (الشكل 21.15): المسار الكلاسيكي، والمسار البديل، ومسار الليكتين.

المسار الكلاسيكي يتطلب وجود جسم مضاد لبدء عمله؛ لذا فه و جزء من المناعة التكيفية. يرتبط الجسم المضاد بمستضد على سط ح الميكروب ويغير شكله، كاشفًا عن زوج من *مواقع ارتباط التكملة* (ا نظر الشكل 21.20). يرتبط بروتين التكملة C1 بهذه المواقع ويبدأ سل سلة من التفاعلات. كل خطوة في هذه السلسلة تولد إنزيمًا يحفز إنتاج المزيد من الجزيئات في الخطوة التالية؛ كل خطوة هي عملية تضخيم، لذا ينتج عدد كبير من الجزيئات من بداية صغيرة. في المسار الكلا سيكي، تسمى هذه السلسلة تثبيت التكملة لأنها تؤدي إلى ارتباط سلسلة من بروتينات التكملة بالجسم المضاد.

تتطلب المسارات البديلة ومسار الليكتين عدم وجود أجسام مضا دة وبالتالي تنتمي إلى مناعتنا الفطرية. يتحلل المتمم C3 ببطء وبشك ل تلقائي في الدم إلى C3a و C3b. في المسار البديل، يرتبط C3b م باشرة بالأهداف مثل خلايا الأورام البشرية والفيروسات والبكتيريا والخ مائر. هذا أيضًا يثير سلسلة من التفاعلات — هذه المرة بتأثير تحفيزي ذاتي حيث يؤدي C3b إلى تسريع انقسام المزيد من C3 وإنتاج المزيد من C3b.

الليكتينات هي بروتينات بلازمية ترتبط بالكربوهيدرات. في مسار الليكتين، يرتبط الليكتين بأنواع معينة من السكريات على سطح الخلية الميكروبية ويُطلق سلسلة تفاعلات تؤدي إلى إنتاج C3b

.

كما نرى، فإن انقسام C3 إلى C3a و C3b هو نقطة تقاطع تتلاقى عندها المسارات الثلاثة. هذان الجزئان من C3 ينتجان، بشكل مباشر أو غير مباشر، النتائج النهائية لنظام التكملة:

1. الالتهاب. يحفز C3a الخلايا البدينة والخلايا القاعدية على إفراز الهيستامين ومواد كيميائية أخرى تسبب الالتهاب. كما ينشط ويجذب العدلات والبلعميات، وهما العاملان الخلويان الرئيسيان لتدمير الممرضات في الالتهاب. الأدوار الدقيقة لهذه المواد الكيميائية والخلايا موضحة في القسم الخاص بالالتهاب الذي سيأتي لاحقًا.
2. تنقية المناعة. يرتبط C3b بمجمعات المستضد-الأجسام المضادة (Ag–Ab) على خلايا الدم الحمراء. وعندما تدور هذه الخلايا في الكبد والطحال، تقوم البلعميات في تلك الأعضاء بنزع وتدمير مجمعات Ag–Ab، مع ترك خلايا الدم الحمراء سليمة. هذه هي الوسيلة الرئيسية لتنقية المستضدات الأجنبية من مجرى الدم.
3. البلعمة. يتم ابتلاع وهضم البكتيريا والفيروسات والممرضات الأخرى بواسطة العدلات والبلعميات. ومع ذلك، لا تستطيع هذه الخلايا البلعمية بسهولة ابتلاع الكائنات الدقيقة "العارية". يساعدها C3b من خلال عملية **opsonization**[8] — حيث يغلف خلايا الميكروبات ويعمل كمواقع ارتباط لتثبيت الخلايا البالغة. كما وصف إيلي ميتشنكوف هذه العملية، فإن التغطية تجعل الخلايا الأجنبية "أكثر شهية" للخلايا البالغة

.

تعمل بشكل رئيسي في المناعة التكيفية. بعض اللمفاويات المسماة *الخلايا التائية المساعدة (helper T cells) تعمل في كل من المناعة الفطرية والتكيفية.*

5. الخلايا الوحيدة (Monocytes) هي كريات دم بيضاء تهاجر من الدم إلى الأنسجة الضامة وتتحول إلى البلعميات الكبيرة (macrophages). جميع خلايا البلعمة النهمة في الجسم باستثناء الكريات البيضاء تُسمى نظام البلعميات الكبيرة (macrophage system). تُدرج الخلايا التغصنية (dendritic cells) رغم أنها تنشأ من خلايا جذعية مختلفة عن البلعميات الكبيرة وتستخدم الالتقام المتوسط بالمستقبلات (receptor-mediated endocytosis) بدلاً من البلعمة لاحتجاز المواد الغريبة. بعض الخلايا البالعة هي خلايا متجولة تبحث بنشاط عن مسببات الأمراض، في حين أن الخلايا الشبكية وغيرها ثابتة في مكانها وتبتلع فقط مسببات الأمراض التي تأتي إليها—مع أنها موضوعة استراتيجيًا لحدوث ذلك. تتوزع البلعميات الكبيرة على نطاق واسع في الأنسجة الضامة الرخوة، لكن هناك أشكال متخصصة ذات مواقع محلية أكثر تحديدًا: الميكروغليا (microglia) في الجهاز العصبي المركزي، والبلعميات الحويصلية (alveolar macrophages) في الرئتين، والبلعميات النجمية (stellate macrophages) في الكبد، على سبيل المثال.

21.2ح البروتينات المضادة للميكروبات

أنواع متعددة من البروتينات تمنع تكاثر الميكروبات وتوفر مقاومة قصيرة الأمد وغير محددة للبكتيريا والفيروسات الممرضة. لقد تناولنا بالفعل عدة أنواع على سطح الجلد، والآن نوجه انتباهنا إلى عائلتين من البروتينات المضادة للميكروبات المحمولة في الدم.

الإنترفيرونات

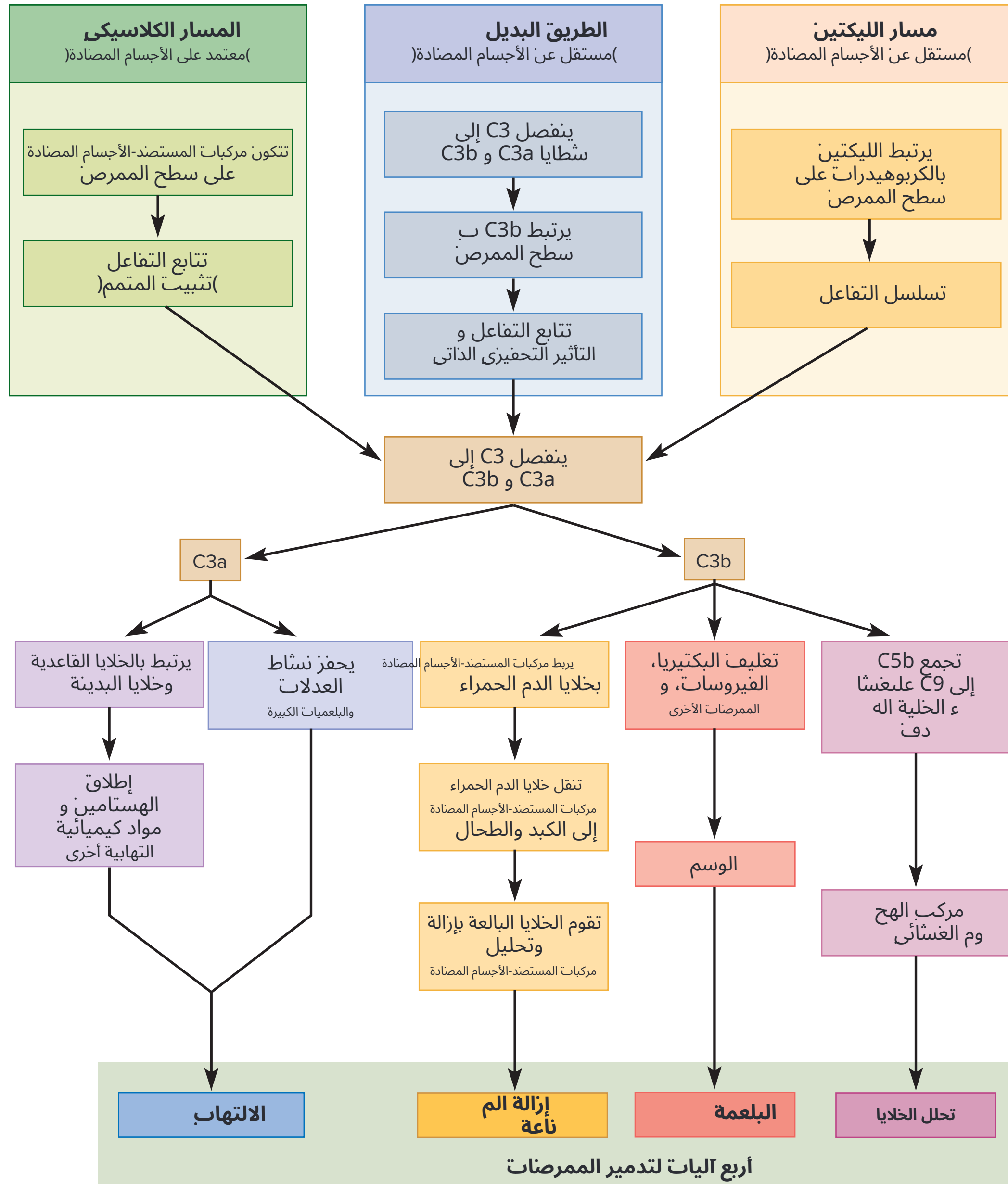
عندما تصاب خلايا معينة (وخاصة الكريات البيضاء) بالفيروسات، تفرز بروتينات تسمى الإنترفيرونات. هذه البروتينات لا تفيد الخلية التي تفرزها كثيرًا، لكنها تشبه "كلماتها الأخيرة" التي تنبه الخلايا المجاورة وتحميها من الإصابة. ترتبط هذه البروتينات بمستقبلات سطحية على تلك الخلايا وتنشط أنظمة الرسول الثاني بداخلها. هذا يحفز تخليق العشرات من البروتينات المضادة للفيروسات التي تدافع عن الخلية بوسائل مثل تكسير جينات الفيروس ومنع تكاثره. كما تنشط الإنترفيرونات خلايا القاتل الطبيعي (NK) والبلعميات، التي تدمر الخلايا المصابة قبل أن تطلق سربًا من الفيروسات الجديدة. كما تمنح الإنترفيرونات مقاومة للسرطان، حيث تدمر خلايا القاتل الطبيعي النشطة الخلايا الخبيثة.

نظام التكملة

نظام التكملة هو مجموعة من أكثر من 30 بروتينًا دفاعيًا من فئة الجلوبيولين. أطلق عليه رائد علم المناعة بول إيرليش (1854–1915) اسم *التكملة* لأنه "يكمل عمل الأجسام المضادة"، وبالفعل هذا هو الوسيلة الرئيسية لتدمير الممرضات في المناعة المعتمدة على الأجسام المضادة. ومع ذلك، منذ زمن إيرليش، تبين أن نظام التكملة مهم أيضًا في المناعة الفطرية.

يتم تصنيع بروتينات التكملة بشكل رئيسي في الكبد. تدور هذه البروتينات في الدم في شكل غير نشط ويتم تنشيطها في وجود الممرضات. تُسمى البروتينات غير النشطة بالحرف *C* ورقم، مثل C3. يؤدي التنشيط إلى انقسامها إلى شظايا تُعرف بحروف صغيرة (مثل C3a وC3b).

[8] *opson* = تحضير الطعام



الشكل 21.15 تنشيط المكمل. تؤدى المسارات الكلاسيكية والبديلة ومسار الليكتين جميعها إلى انقسام المكمل C3 إلى C3a و C3b. تنشط هاتان القطعتان عمليات تؤدى إلى تعزيز الالتهاب، وتنقية المناعة، والبلعمة، والتحلل الخلوى.

4. التحلل الخلوى.[9] يقوم C3b بتقسيم بروتين مكمل آخر، C5، إلى C5a و C5b. يتجمع C5b مع بروتينات المكمل الأخرى، و خاصة C9، لتشكيل حلقة تسمى *معقد الهجوم الغشائى* (الشكل 21.16). يشكل هذا المعقد ثقبًا فى غشاء الخلية المستهدفة. تتسرب الإلكتروليتات من الخلية، ويتدفق الماء بسرعة إلى الداخل، مما يؤدى إلى تمزق الخلية.

غالبًا ما يتم تنشيط نظام المكمل بواسطة عامل آخر يسمى *البروتين التفاعلى C (CRP)*. يرتبط CRP بالخلايا الميتة والمحتضرة والبكتيريا وينشط المكمل، مما يحفز البلعميات على إزالة البكتيريا والخلايا الميتة من الأنسجة. تُستخدم اختبارات الدم لقياس مستوى مرتفع من CRP غالبًا لتشخيص الالتهاب وحالات أخرى.

21.2د الخلايا القاتلة الطبيعية

تقوم الخلايا القاتلة الطبيعية (NK) بدوريات مستمرة فى الجسم "تبحث" عن مسببات الأمراض أو الخلايا المضيفة المريضة. تهاجم وتدمر البكتيريا، وخلايا الأعضاء والأنسجة المزروعة، والخلايا المصابة بالفيروسات، وخلايا السرطان. عند التعرف على خلية عدوة، ترتبط بها الخلية القاتلة الطبيعية وتفرز بروتينات تسمى بيرفورينات، التى تتجمع فى حلقة وتخلق ثقبًا فى غشاء البلازما الخاص بها (الشكل 21.17). هذا هو قبلة الموت، لأن الثقب يسمح بتدفق سريع للماء والأملاح. قد يؤدى ذلك وحده إلى قتل الخلية المستهدفة، لكن الخلية القاتلة الطبيعية

[9] *سايتو* = خلية؛ *ليسيس* = انقسام، تحلل

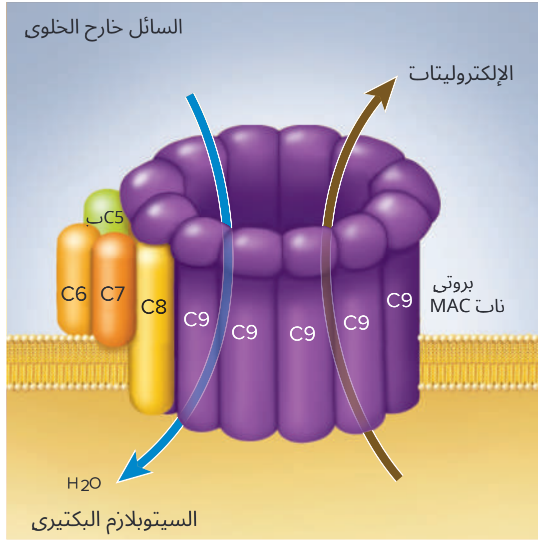
نظرًا لاختلافات درجة حرارة جسم الإنسان، لا يوجد معيار دقيق لتحد يد ما يشكل حمى — فدرجة حرارة تُعتبر حُمويّة لشخص قد تكون ط بيعية لآخر.

تُعتبر الحمى عادةً أثرًا جانبيًا غير مرغوب فيه للمرض، ونبذل جهودًا لخفضها من أجل الراحة. ومع ذلك، فهي عادةً آلية دفاع مفيدة تفيد أكثر مما تضر. على سبيل ا لمثال، الأشخاص المصابون بالزكام يتعافون بسرعة أكبر ويقللون من نقل العدوى للآخرين عندما يسمحون للحمى أن تأخذ مجراها بدلاً من ا ستخدام أدوية خافضة للحمى مثل الأسبرين والإيبوبروفين. تسرع الح مى من التعافي عن طريق)1(تعزيز نشاط الإنترفيرون،)2(تثبيط تكا ثر البكتيريا والفيروسات، و)3(رفع معدل الأيض وتسريع إصلاح الأن سجة.

عادةً ما تبدأ الحمى بواسطة الحُمّيات الخارجية[10] — وهي عوام ل محدثة للحمى تنشأ خارج الجسم، مثل الجليكوليبيدات السطحية ل لبكتيريا والفيروسات. عندما تهاجم العدلات والبلعميات هذه الممر ضات، تفرز مجموعة متنوعة من الببتيدات التي تعمل كـ الحُمّيات ا لداخلية[11]. هذه بدورها تحفز خلايا العصبونات في الوطاء الأمامي على رفع نقطة الضبط لدرجة حرارة الجسم — مثلاً إلى 39 درجة مئوية)1 02 فهرنهايت(بدلاً من 37 درجة مئوية)98.6 فهرنهايت( )الشكل 21 .18(. يُعزز البروستاجلاندين E2 (PGE_2) المُفرز في الوطاء هذا التأثير. يقلل الأسبرين والإيبوبروفين من الحمى عن طريق تثبيط تخليق البرو ستاجلاندين، ولكن في بعض الحالات، قد يؤدي استخدام الأسبرين لل تحكم في الحمى إلى عواقب قاتلة)انظر التعمق 21.3(.

عندما ترتفع نقطة الضبط، يرتجف الشخص لتوليد الحرارة وتتقل ص الشرايين الجلدية لتقليل فقدان الحرارة. في مرحلة الحمى المسما ة *البداية* ، ترتفع درجة الحرارة، ومع ذلك يشعر الشخص بالقشعريرة و يشعر بالبرد والعرق البارد بالنسبة للآخرين.

[10] exo= من الخارج؛ genous= ناشئ؛ pyro= نار، حرارة؛ gen= محدث
[11] endo= من الداخل؛ genous= ناشئ؛ pyro= نار، حرارة؛ gen= محدث



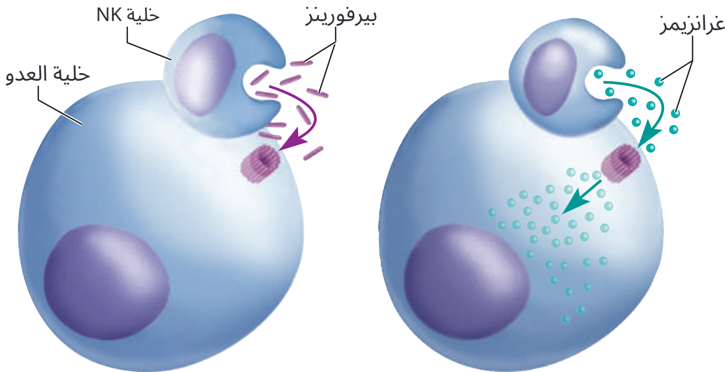
الشكل 21.16 مجمع الهجوم الغشائي. بروتينات المكمل C5b إلى C9 تُكوّن حلقة تفتح ثقبًا قاتلًا في غشاء الخلية العدوة.

بأي طريقة يشبه عمل مركب الهجوم الغشائي عمل البيرفورين؟

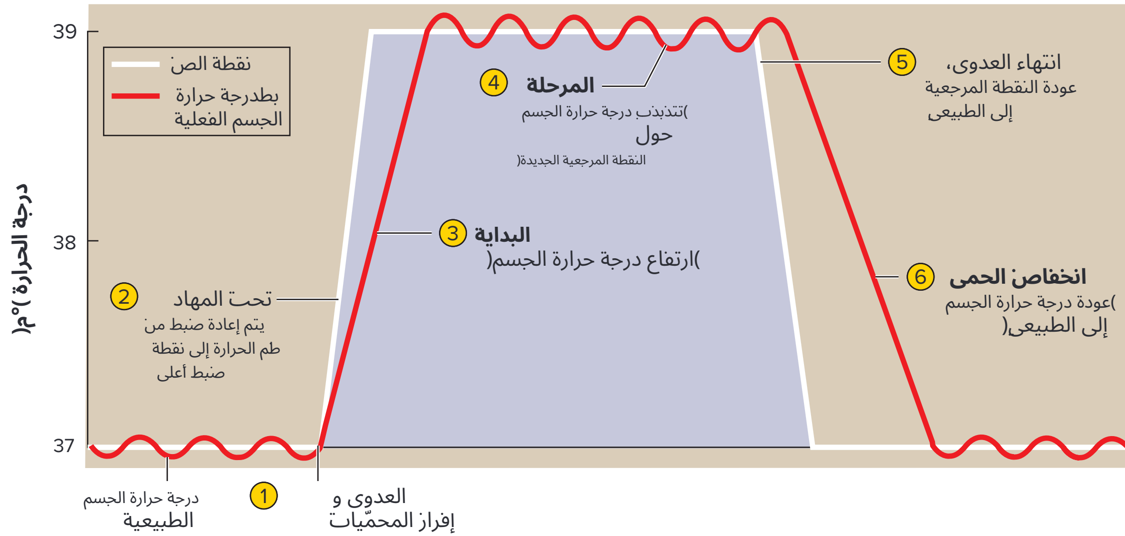
يُفرز أيضًا إنزيمات تحلل البروتين تُسمى الغرانزيمات. هذه تدخل م ن خلال الثقب الذي تصنعه البروفرينات، وتدمر إنزيمات الخلية الم ستهدفة، وتحفز الموت المبرمج للخلية)الاستماتة(.

21.2هـ الحمى

الحمى هي ارتفاع غير طبيعي في درجة حرارة الجسم. وتُعرف أيضًا باسم الحمى ، ومصطلح *الحُموي* يعني متعلق بالحمى)كما في "نوبة حُمويّة"(. تحدث الحمى نتيجة للعدوى، الصدمات، تفاعلات الأدوية، أورام الدماغ، والعديد من الأسباب الأخرى.



الشكل 21.17 عمل خلية القاتل الطبيعي)NK(.



الشكل 21.18 مسار الحمى.

على الرغم من أن معطم الحمى مفيدة، إلا أن ارتفاع درجة الحرارة بشكل مفرط يمكن أن يكون خطيرًا لأنه يسرع مسارات إنزيمية مختل فة بدرجات متفاوتة، مما يؤدى إلى خروج المسارات الأيضية عن التزا من وتعطل عمل الخلايا. يمكن أن تسبب الحمى التى تزيد عن 40.5 د رجة مئوية)105 فهرنهايت(الهذيان. تحدث التشنجات والغيبوبة عند درجات حرارة أعلى، وغالبًا ما تؤدى الحمى التى تتراوح بين 44 إلى 46 درجة مئوية)111 إلى 115 فهرنهايت(إلى الوفاة أو تلف دماغى لا رح عة فيه.

21.2f الالتهاب

الالتهاب هو استجابة دفاعية موضعية لإصابة الأنسجة من أى نوع، بما فى ذلك الصدمة والعدوى. الأهداف العامة له هى)1(الحد من انتشا ر العوامل الممرضة والقضاء عليها فى النهاية،)2(إزالة حطام الأنسجة التالفة، و)3(بدء إصلاح الأنسجة. يتميز الالتهاب بأربعة علامات رئى سية: الاحمرار، التورم، الحرارة، والألم. يذكر بعض الخبراء ضعف الاس تخدام كعلامة خامسة، لكن قد تحدث أو لا تحدث، وعندما تحدث، يكو ن ذلك غالبًا بسبب الألم.

طبق ما تعرفه

على الرغم من التعبير، فإن الأربع "علامات رئيسية" للالتهاب هى فى الواقع مزيج من علامات وأعراض. بمساعدة تعريفات القامو س، حدد أيها علامات وأيها أعراض.

الكلمات التى تنتهى باللاحقة *itis*- تدل على التهاب أعضاء وأنسج ة محددة: *التهاب المفاصل، التهاب الدماغ، التهاب الصفاق، التهاب ا للثة، والتهاب الجلد* على سبيل المثال. يمكن أن يحدث الالتهاب فى أ ى مكان فى الجسم، لكنه أكثر شيوعًا ووضوحًا فى الجلد، الذى يتعر ض للمزيد من الصدمات مقارنة بأى عضو آخر. تشمل أمثلة الالتهاب الجلدى لدغة بعوضة تسبب حكة، حروق الشمس، طفح سام من الل بلاب السام، والاحمرار والتقرح الناتج عن العمل اليدوى، الأحذية الص يقة، أو حروق المطبخ.



نظرة أعمق 21.3

تطبيق سريرى

متلازمة راى

فى الأطفال الذين تقل أعمارهم عن 15 عامًا، قد يتبع عدوى فيروسية حادة مثل ح درى الماء أو الإنفلونزا أحيانًا اضطراب خطير يُسمى متلازمة راى[12])تنطق "راى"(. تم التعرف على هذا المرض لأول مرة فى عام 1963 ، ويتميز بتورم خلايا الدماغ العصبية وتسلل دهنى فى الكبد وأعضاء أخرى. تموت ا لخلايا العصبية بسبب نقص الأكسجة وضغط الدماغ المتورم، مما يؤدى إلى الغثيا ن والقيء والارتباك والنوبات والغيبوبة. يموت حوالى 30% من الضحايا، وأحيانًا يع انى الناجون من تخلف عقلى. يمكن أن تُحفز متلازمة راى باستخدام الأسبرين للتح كم فى الحمى؛ وينصح الآباء بشدة بعدم إعطاء الأسبرين للأطفال المصابين بجدرى الماء أو أعراض شبيهة بالإنفلونزا.

فى المرحلة التالية، *المرحلة*، تتأرجح درجة الحرارة حول نقطة الضبط ا لأعلى طالما أن العامل الممرض موجود. تعمل درجة الحرارة المرتفعة على تعزيز عمل الإنترفيرونات وبروتينات مضادة للميكروبات أخرى، و تثبط تكاثر البكتيريا.

عندما يتم القضاء على العدوى، يتوقف إفراز البيروجين ويعاد ض بط منظم الحرارة فى الوطاء إلى الوضع الطبيعى. هذا ينشط آليات فق دان الحرارة، وخاصة توسع الأوعية الدموية الجلدية والتعرق. تكون ال بشرة دافئة ومحمرّة خلال هذه المرحلة. تسمى مرحلة انخفاض درجة ا لحرارة انخفاض الحرارة بشكل عام، الأزمة)الاحمرار(إذا انخفضت درج ة الحرارة فجأة، أو التحلل إذا انخفضت ببطء.

[12]أر. دوغلاس راى)1912–77(، طبيب الأمراض الأسترالى

الجدول 21.1 **بعض عوامل الالتهاب**

العامل	الوظيفة
العوامل الخلوية	
الخلايا القاعدية وخلايا البدينة	تفرز الهيستامين، الهيبارين، اللوكوتريينات، والكينينات
اليوزينوفيلات*	تنتج عوامل مؤكسدة مضادة للطفيليات وبروتينات سامة؛ تحفز الخلايا القاعدية وخلايا البدينة؛ تحد من تأثير الهيستامين والمواد الالتهابية الأخرى
الأرومات الليفية	إعادة بناء الأنسجة التالفة عن طريق إفراز الكولاجين، والمادة الأساسية، ومكونات الأنسجة الأخرى
خلايا تى المساعدة*	إفراز عوامل كيميائية تجتذب الخلايا وعوامل تحفيز المستعمرات
البلعميات الكبيرة*	تنظيف تلف الأنسجة؛ ابتلاع البكتيريا، وحطام الأنسجة، واللوكوسيتات الميتة والميتة جزئياً، والجراثيم
الوحيدات	الهجرة إلى الأنسجة الملتهبة وتتحول إلى بلعميات كبيرة
العدلات	ابتلاع البكتيريا؛ إفراز عوامل مؤكسدة قاتلة للبكتيريا؛ إفراز السيتوكينات التى تنشط المزيد من اللوكوسيتات
الصفائح الدموية	إفراز عوامل التخثر وعامل نمو مشتق من الصفائح الدموية
العوامل الكيميائية	
براديكينين	بروتين بلازمى يحفز توسع الأوعية الدموية، نفاذية الشعيرات الدموية، الألم، وكيمياء جذب العدلات
المتمم*	بروتينات تعزز البلعمة والتحلل الخلوى للعوامل الممرضة، تنشط وتجذب العدلات والبلعميات، وتحفز الخلايا القاعدية وخلايا البدينة على إفراز المواد الكيميائية الالتهابية
السيتوكينات	بروتينات صغيرة متنوعة تُنتج بشكل رئيسى بواسطة خلايا الدم البيضاء؛ تلعب أدوارًا فى التواصل الخلوى، الهجرة، والتنشيط، خصوصًا فى الالتهاب والاستجابات المناعية
هيبارين	بوليسكاريد تفرزه الخلايا القاعدية وخلايا البدينة يمنع تخثر سائل النسيج داخل المنطقة المحاطة بالفيبرين، مما يعزز حرية حركة الكريات البيضاء التى تهاجم الكائنات الدقيقة الممرضة
الهستامين	مشتق من الأحماض الأمينية يُنتج بواسطة الخلايا القاعدية وخلايا البدينة ويحفز توسع الأوعية الدموية وزيادة نفاذية الشعيرات الدموية
اللوكوترايينات	إيكوسانويدات تحفز توسع الأوعية الدموية، وزيادة نفاذية الشعيرات الدموية، وكيمياء جذب العدلات، خاصة فى الالتهاب والحساسية
البروستاجلاندينات	إيكوسانويدات تحفز الألم والحمى وتوسع الأوعية الدموية؛ وتعزز عبور العدلات عبر جدران الأوعية الدموية؛ وتزيد من تأثير الهستامين و البرافيدينين

* لهذه العوامل الالتهابية أدوار إضافية فى المناعة التكيفية موصوفة فى الجدول 21.4.

يُفرز السيتوكينات التى تحفز نخاع العظم الأحمر على إطلاق العدلات إلى الدورة الدموية، مما يرفع عدد العدلات فى الدم خلال ساعات. بالإضافة إلى ذلك، تفرز بعض الخلايا مواد *نشطة للأوعية* تُوسّع الأوعية الدموية فى منطقة الإصابة. من بين هذه المواد الهيستامين، واللوكوترينات، وسيتوكينات أخرى تفرزها الخلايا القاعدية، وخلايا البدينة، والخلايا المتضررة من مسببات الأمراض التى أثارت الالتهاب. الزيادة الناتجة فى تدفق الدم المحلى تُسمى فرط الدم. لا يؤدى فرط الدم فقط إلى تسريع توصيل الكريات البيضاء، بل يغسل أيضًا السموم والنفايات الأيضية من الأنسجة بشكل أسرع.

بالإضافة إلى توسيع الأوعية الدموية المحلية، تحفز المواد النشطة للأوعية خلايا البطانة للأوعية الدموية الشعرية والأوردة الصغيرة على الانقباض قليلاً، مما يوسع الفجوات بينها ويزيد من نفاذية الشعيرات الدموية. هذا يسمح بتحرك أسهل للسوائل، والكريات البيضاء، وبروتينات البلازما من مجرى الدم إلى الأنسجة المحيطة. من بين البروتينات المفيدة التى تتسرب من الدم هناك المكمل، والأجسام المضادة، وعوامل التخثر، والتى تساعد جميعها فى مكافحة مسببات الأمراض.

تقوم خلايا البطانة بنشاط بتجنيد الكريات البيضاء. فى منطقة الإصابة، تنتج جزيئات التصاق خلوية تجعل أغشيتها لزجة، مما يمكنها من التقاط الكريات البيضاء الوافدة إلى

سيناقش ما يلى العلامات الأربع الأساسية ويشرح كيف تتحقق الأغراض الثلاثة للالتهاب.

يتم التوسط فى الالتهاب بواسطة عدة أنواع من الخلايا والمواد الكيميائية الملخصة فى الجدول 21.1. العديد من المواد الكيميائية التى تنظم الالتهاب والمناعة تنتمى إلى فئة تسمى السيتوكينات[13] — وهى بروتينات صغيرة تعمل كشبكة تواصل كيميائية بين خلايا المناعة. عادةً ما تؤثر السيتوكينات على مدى قصير، إما على الخلايا المجاورة (تأثير *باراكرين*[14]) أو على نفس الخلية التى تفرزها (تأثير *أوتوكراين*[15])؛ وتُميز هذه المصطلحات عن التأثيرات *الإندوكرانية* طويلة المدى للهرمونات.

يتضمن الالتهاب ثلاث عمليات رئيسية: تعبئة دفاعات الجسم، احتواء وتدمير الممرضات، وتنظيف الأنسجة وإصلاحها.

تعبئة الدفاعات

أهم متطلب فورى للتعامل مع إصابة الأنسجة هو إيصال الكريات البيضاء الدفاعية إلى الموقع بسرعة. الأنسجة التالفة

[13] *سايتو* = خلية؛ كين = تحريك
[14] *para* = بجانب؛ *crin* = يفرز
[15] *ذاتى* = self؛ *إفرازى* = to secrete

النسيج؛)3(التورم)الوذمة(ناتج عن زيادة ترشيح السوائل من الشعيرات الدموية؛ و)4(الألم ناتج عن إصابة مباشرة للأعصاب، وضغط الوذمة على الأعصاب، وتحفيز مستقبلات الألم بواسطة البروستاجلاندينات وبعض السموم البكتيرية وبروتين يُسمى براديكينين.

▶▶▶ طبق ما تعرفه

راجع تخليق الإيكوسانويد)الشكل 17.24(وفسر لماذا يخفف الأسبرين ألم الالتهاب.

احتواء وتدمير مسببات الأمراض

أحد الأولويات فى الالتهاب هو منع انتشار مسببات الأمراض فى الجسم. الفيبرينوجين الذى يترشح إلى سائل النسيج يتخثر فى المناطق المجاورة للإصابة، مكونًا شبكة لزجة تحجز)تحيط وتعزل(البكتيريا والكائنات الدقيقة الأخرى. الهيبارين، مضاد التخثر، يمنع التخثر فى المنطقة الفورية للإصابة، لذا تُحبس البكتيريا ومسببات الأمراض الأخرى أساسًا فى جيب سائل محاط بكبسولة هلامية من سائل النسيج المتخثر. تُهاجم الميكروبات بواسطة الأجسام المضادة، والبلعميات، ودفاعات أخرى، بينما تمنع الكبسولة المحيطة هروبها بسهولة من هذا الهجوم.

الأعداء الرئيسيون للبكتيريا هم العدلات، التى تتجمع فى الأنسجة الملتهبة خلال ساعة واحدة. بعد هجرتها من مجرى الدم، تظهر الكيمياء الجذبية — الانجذاب إلى المواد الكيميائية التى توجهها إلى موقع الإصابة أو العدوى. تشمل هذه المواد البراديكينين، واللوكوترايينات، و ATP الذى تفرزه الخلايا الميتة، وADP الذى تفرزه الصفائح الدموية. عند مواجهتها للبكتيريا، تقوم العدلات بابتلاعها وهضمها بنشاط، وتدمر العديد منها بواسطة آليات الشبكة خارج الخلية)NET(والانفجار التنفسى التى تم وصفها سابقًا. المراحل الرئيسية لعمل العدلات ملخصة فى الشكل 21.19.

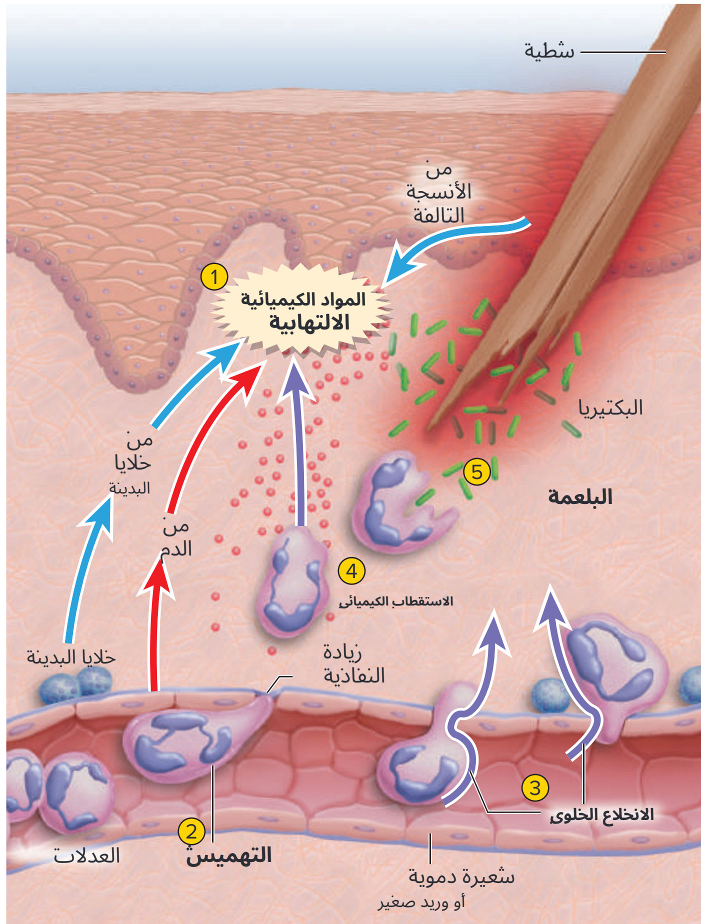
تقوم العدلات أيضًا بتجنيد البالعات الكبيرة وعدلات إضافية عن طريق إفراز السيتوكينات، مثل الصراخ "هنا!" لجلب التعزيزات. تفرز البالعات الكبيرة والخلايا التائية النشطة فى الأنسجة الملتهبة سيتوكينات تعزز إنتاج المزيد من الكريات البيضاء فى نخاع العظم الأحمر. خلال بضع ساعات من البداية، يمكن أن يرتفع عدد العدلات فى الدم من 4000 أو 5000 خلية/ميكرولتر إلى 25000 خلية/ميكرولتر، وهى حالة تسمى كثرة العدلات. فى حالة الحساسية أو العدوى الطفيلية، قد يحدث أيضًا ارتفاع فى عدد الحمضات، أو كثرة الحمضات. تم وصف مهمة الحمضات سابقًا.

تنظيف الأنسجة وإصلاحها

الوحيدات هى العوامل الرئيسية فى تنظيف الأنسجة وإصلاحها. تصل خلال 8 إلى 12 ساعة، تهاجر من مجرى الدم، وتتحول إلى بالعات كبيرة. تقوم البالعات الكبيرة بابتلاع وتدمير البكتيريا، والخلايا المضيفة التالفة، والعدلات الميتة والميتة جزئيًا. كما تعمل كخلايا مقدمة للمستضدات، مما ينشط عمليات المناعة التكيفية.

يساهم الوذمة أيضًا فى تنظيف الأنسجة. يضغط التورم على الأوردة ويقلل من تصريف الدم الوريدى، بينما يفتح صمامات الشعيرات اللمفاوية ويعزز التصريف اللمفاوى.

تجمع الأوعية اللمفاوية وتزيل البكتيريا، والخلايا الميتة، والبروتينات، وحطام الأنسجة بشكل أفضل من الشعيرات الدموية أو الأوردة الصغيرة.



الشكل 21.19 سلوك العدلات فى الالتهاب. يتم إفراز الرسل الكيميائية بواسطة الخلايا القاعدية، وخلايا البدينة، وبلازما الدم، والأنسجة التالفة. تحفز هذه المواد الكيميائية الالتهابية التصاق الكريات البيضاء بجدار الأوعية الدموية)التموضع(، والعبور عبر الفجوات فى الجدار)الانزلاق(، والحركة نحو مصدر المواد الكيميائية الالتهابية)الكيمياء الجذبية(، والبلعمة)ابتلاع البكتيريا أو مسببات الأمراض الأخرى(.

تدفق الدم. تلتصق الكريات البيضاء بشكل غير محكم بالغشاء البطانى وتدور ببطء عليه، أحيانًا تغطيه بسماكة تعيق تدفق الدم. يُسمى هذا الالتصاق بجدار الوعاء الهامشية.

ثم تزحف الكريات البيضاء عبر الفجوات بين خلايا الغشاء البطانى—وهى عملية تُسمى العبور الخلوى[16] أو الهجرة—وتدخل سائل النسيج فى النسيج التالف)الشكل 21.19(. يحدث معظم العبور الخلوى عبر جدران الأوردة الشعرية بعد الشعيرات الدموية.

تُقال الخلايا والمواد الكيميائية التى غادرت مجرى الدم إنها مُتسربة خارج الأوعية.[17]

فى الأحداث التى وقعت سابقًا، يمكننا رؤية أساس العلامات الأربع الرئيسية للالتهاب:)1(الحرارة ناتجة عن فرط التروية؛)2(الاحمرار أيضًا بسبب فرط التروية وفى بعض الحالات، مثل حروق الشمس، بسبب تسرب كريات الدم الحمراء إلى

---

[16] did= عبر؛ pedesis= خطوة
[17] extra= خارج؛ vas= وعاء

يتناول بقية هذا الفصل المناعة التكيفية)خط الدفاع الثالث(. لوحظ ت المناعة التكيفية حتى في القرن الخامس قبل الميلاد، عندما أشار ا لمؤرخ اليوناني ثوسيديدس إلى أن الأشخاص الذين تعافوا من مرض ما غالبًا ما يصبحون ممنيعين ضد ذلك المرض ولكنهم يظلون عرضة لأمراض أخرى. تُعرف المناعة التكيفية الآن بثلاث خصائص تميزها ع ن الثلاث التي تم ذكرها سابقًا)محلية، غير محددة، وبدون ذاكرة(للمنا عة الفطرية:

1. لها تأثير جهازي. عندما يتم تنشيط استجابة تكيفية ضد تهديد معين مثل عدوى بكتيرية، فإنها تعمل في جميع أنحاء الج سم لهزيمة ذلك الممرض أينما وُجد.

2. تظهر خصوصية. بينما لا تستهدف المناعة الفطرية ممرضًا معي نًا، فإن المناعة التكيفية تركز بشكل حاد على غازٍ محدد بحي ث تكون الاستجابة المعينة ذات فائدة قليلة ضد ممرض مختل ف. على سبيل المثال، الاستجابة التكيفية لفيروس شلل الأط فال ليست فعالة ضد الحصبة. يستطيع الجهاز المناعي الاستجابة لمليارات من مسببات الأمرا ض المختلفة بشكل فردي، وهو إنجاز رائع.

3. لديه ذاكرة. عند التعرض لنفس المسبب المرضي مرة أخرى، يتفا عل الجسم بسرعة كبيرة بحيث لا تظهر أي أعراض مرضية ملحوظ ة. بالمقابل، فإن زمن الاستجابة للالتهاب والدفاعات الفطرية الأخر ى يظل كما هو في التعرضات اللاحقة كما في التعرض الأول.

21.3أ أشكال المناعة التكيفية

في أواخر القرن التاسع عشر، تم اكتشاف أن المناعة يمكن أن تنتقل م ن حيوان إلى آخر عن طريق مصل الدم. ومع ذلك، في منتصف القرن العشرين، تبين أن المصل لا يمنح المناعة دائمًا؛ ففي بعض الأحيان تكون الخلايا اللمفاوية للمتبرع هي التي تمنح المناعة فقط. وهكذا، أدر ك علماء الأحياء وجود نوعين من المناعة التكيفية، يُطلق عليهما المنا عة الخلوية والمناعة الخلطية، على الرغم من أن الاثنين يتفاعلان بشك ل واسع وغالبًا ما يستجيبان لنفس المسبب المرضي.

المناعة الخلوية)المناعة المعتمدة على الخلايا(تستخدم الخلايا اللمفاوية التي تهاجم وتدمر الخلايا الغريبة أو الخلايا المصابة في الجسم بشكل مباشر. هي وسيلة للتخلص من مسببات الأمراض التي تعيش داخل خلايا الإ نسان، حيث لا يمكن للأجسام المضادة الوصول إليها: مثل الفيروسا ت والبكتيريا والخمائر والطفيليات داخل الخلايا. كما تعمل المناعة الخ لوية ضد الديدان الطفيلية، وخلايا السرطان، وخلايا الأنسجة والأعضاء المزروعة.

المناعة الخلطية)المناعة المعتمدة على الأجسام المضادة(تستخ دم الأجسام المضادة، التي لا تدمر مسببات الأمراض مباشرةً، بل تمي زها لتدميرها بواسطة آليات سيتم شرحها لاحقًا. يشير مصطلح *الخل طية* إلى الأجسام المضادة المذابة في سوائل الجسم)"الخلطات"(. الم ناعة الخلطية فعالة ضد الفيروسات والبكتيريا والخمائر والطفيليات خا رج الخلايا، وكذلك ضد العوامل المرضية الجزيئية)غير الخلوية(مثل ا لسموم والسموم الحيوانية ومسببات الحساسية. وفي حالة نقل الدم غير المتطابق، تدمر أيضًا كريات الدم الحمراء الغريبة.

لاحظ أن المناعة الخلطية تعمل بشكل رئيسي ضد المراحل *خار ج الخلوية* للكائنات الدقيقة الممرضة. عندما تغزو هذه الكائنات خلايا ا لمضيف، فإنها عادة ما تكون محمية من هجوم الأجسام المضادة في ا لمصل. ومع ذلك، فإن المراحل *داخل الخلوية* لا تزال عرضة للمناعة ا لخلوية التي تدمرها عن طريق قتل الخلايا التي تحتضنها. علاوة على ذ لك، ترتبط بعض الأجسام المضادة من فئة IgE)سيتم شرحها لاحقًا(بالديدان الطفيلية وتساعد في

مع تقدم المعركة، تموت جميع العدلات ومعظم البلعميات الكبير ة في المنطقة. تشكل الخلايا الميتة وحطام الأنسجة وسوائل الأنسجة تجمعًا من السائل الأصفر يسمى القيح، الذي يتجمع في جيب يسمى خراج.[18] عادةً ما يتم امتصاص القيح، ولكن أحيانًا يتكون بثرة بين الب شرة والأدمة وقد يتم إطلاقه عند تمزقها.

الصفائح الدموية وخلايا البطانة في منطقة الإصابة تفرز عامل نمو مشتق من الصفائح الدموية، وهو عامل يحفز تضاعف الأرومات الليفية وتكوين الكولاجين. في الوقت نفسه، تُوصل فرط الدم الأكسجين والأحماض الأمينية وغيرها من الضروريات لتخليق البروتين، بينما تزيد حرارة الأنسجة الملتهبة معدل الأيض وسرعة الانقسام الخلوي وإصلاح الأنسجة. قد يوفر الجلطة الفيبرينية في الأنسجة هيكلًا داعمًا لإعادة البناء.
يساهم الألم أيضًا بشكل مهم في التعافي.
إنه إشارة إنذار مهمة تجذب انتباهنا إلى الإصابة وتجعلنا نحد من اس تخدام جزء من الجسم ليحصل على فرصة للراحة والشفاء.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

6. ذكر سابقًا أن المناعة الفطرية تستخدم البروتينات الوقائية ، والخلايا الوقائية، والعمليات الوقائية. قدم ثلاثة أمثلة لكل منها.
7. ما هي البلاعم؟ قدم أربعة أمثلة واذكر أماكن وجودها.
8. كيف تحمي الإنترفيرونات ونظام المتمم ضد الأمراض؟
9. لخص فوائد الحمى وحدود هذه الفوائد.
10. عدد العلامات الأساسية للالتهاب واذكر سبب كل منها.

21.3 المناعة التكيفية—الجوانب العامة

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. تحديد الخصائص الثلاث المميزة للمناعة التكيفية؛
ب. مقارنة المناعة الخلوية والمناعة الخلطية، والمناعة النشط ة والمناعة السلبية، والمناعة الطبيعية والمناعة الصناعية؛
ج. وصف الخصائص الكيميائية للمستضدات؛
د. وصف التركيب وأنواع الأجسام المضادة الخمسة؛
هـ. وصف ومقارنة تطور الخلايا اللمفاوية T و B؛ و
و. وصف الأدوار العامة التي تلعبها الخلايا اللمفاوية، والخلايا العارضة للمستضد، والإنترلوكينات في الاستجابة المناعية.

[18] ab = بعيد؛ scess)من cedere(= الذهاب

المواد المنقولة عن طريق الغذاء؛ والبعض الآخر هى مكونات أغشية ا
لبلازما وجدران الخلايا البكتيرية. الجزيئات الصغيرة الشاملة مثل الجلو
كوز والأحماض الأمينية ليست مستضدية؛ إذا كانت كذلك، فإن جهاز
نا المناعى سيهاجم المغذيات والجزيئات الأخرى الضرورية لبقائنا. مع
ظم المستضدات لها أوزان جزيئية تزيد عن 10,000 وحدة كتل ذرية و
لديها تعقيد هيكلى وتنوع كافٍ لتكون فريدة لكل فرد: البروتينات، ال
سكريات المتعددة، الجليكوبروتينات، والجليكوليبيدات. تميزها الفريد
يمكّن الجسم من التمييز بين جزيئاته الخاصة)"الذات"(وتلك الخاص
ة بأى فرد أو كائن آخر)"غير الذات"(. يتعلم الجهاز المناعى التمييز بين
مستضدات الذات ومستضدات غير الذات، لذا فهو عادة يهاجم فقط
مستضدات غير الذات.

فقط مناطق معينة من جزيء المستضد، تسمى الإبيتوبات)الم
حددات المستضدية(، تحفز الاستجابات المناعية. عادةً ما يحتوى جز
يء المستضد الواحد على عدة إبيتوبات مختلفة، يمكنها تحفيز إنتاج م
تزامن لأجسام مضادة مختلفة.

بعض الجزيئات، المسماة الهابتينات [20]المستضدات غير المك
تملة(، صغيرة جدًا بحيث لا تكون مستضدية بحد ذاتها، لكنها يمكن أ
ن تحفز استجابة مناعية عن طريق الارتباط بجزيء كبير فى المضيف و
خلق مركب فريد يتعرف عليه الجسم كجسم غريب. بعد التعرض الأو
ل، قد تحفز الهابتين وحده استجابة مناعية دون الحاجة للارتباط بجزى
ء المضيف. كثير من الناس يعانون من حساسية تجاه الهابتينات فى
مستحضرات التجميل، والمنظفات، والمواد الكيميائية الصناعية، ون
بات اللبلاب السام، ووبر الحيوانات. أكثر حساسية دوائية شيوعًا هى
تجاه البنسلين — وهو هابتين يرتبط ببروتينات المضيف فى الأفراد ا
لحساسين، مكونًا مركبًا يرتبط بخلايا البدينة ويحفز إطلاقًا هائلًا للهس
تامين ومواد التهابية أخرى.
هذا يمكن أن يسبب الوفاة بسبب *الصدمة التأقية*.

21.3ح الأجسام المضادة

الأجسام المضادة)Abs(، المعروفة أيضًا باسم الجلوبيولينات المناع
ية)Igs(، هى بروتينات من فئة الغلوبيولينات جاما تلعب أدوارًا متنو
عة فى الدفاع. بعضها بروتينات متكاملة فى أغشية البلازما للخلايا القا
عدية وخلايا البدينة وتعمل فى المناعة الفطرية. والبعض الآخر، الذى
يلعب دورًا فى المناعة التكيفية، هو بروتينات غشائية فى الخلايا اللم
فاوية B أو *أجسام مضادة ذائبة* مذابة فى سوائل الجسم مثل بلازما ا
لدم، اللمف، المخاط، اللعاب، الإفرازات المعوية، الدموع، وحليب ال
ثدى. لقد تحدثنا كثيرًا عن الأجسام المضادة سابقًا فى الفصل 18)ف
صائل الدم(وهذا الفصل؛ وحان الوقت الآن لإلقاء نظرة أقرب على ماه
يتها وكيفية عملها.

الوحدة الهيكلية الأساسية للجسم المضاد، المسماة مونومر الجسم
المضاد، تتكون من أربعة بولى ببتيدات مرتبطة بروابط ثنائية الكبريتيد
)—S—S— ( )الشكل 21.20(. تشمل هذه سلسلتين ثقيلتين طول ك
ل منهما حوالى 400 حمض أمينى وسلسلتين خفيفتين حوالى نصف
هذا الطول. لكل سلسلة ثقيلة منطقة مفصل حيث ينثنى الجسم المضا
د، مما يعطى المونومر شكل T أو Y.
جميع السلاسل الأربع تحتوى على منطقة متغيرة)V(التى تمنح
الجسم المضاد تفرده. تتحد المناطق المتغيرة لكل زوج من السلاسل ا
لثقيلة والخفيفة لتشكل موقع ارتباط المستضد على كل ذراع. هذه ا
لمواقع هى حيث يرتبط الجسم المضاد بإبيتوبات جزيئات المستضد.
بقية كل سلسلة هى منطقة ثابتة)C(، والتى

تدميرها. وهكذا، فإن المناعة الخلطية والخلوية أحيانًا تهاجم نفس الكا
ئن الدقيق بطرق مختلفة أو فى نقاط مختلفة من دورة حياته. بعد منا
قشتنا لتفاصيل العمليتين، ستجد المناعة الخلوية والخلطية ملخصة
ومقارنة فى الجدول 21.5 كمساعدة للرجوع إليها والمراجعة.

طرق أخرى لتصنيف المناعة هى المناعة النشطة مقابل السلبية وا
لمناعة الطبيعية مقابل الاصطناعية. فى المناعة النشطة، يصنع الجسم أ
جسامه المضادة أو خلايا T الخاصة به ضد مسبب المرض، بينما فى الم
ناعة السلبية، يكتسب الجسم هذه الأجسام المضادة أو الخلايا من شخ
ص آخر أو حيوان يتمتع بالمناعة ضد مسبب المرض. يمكن أن تحدث أ
ى من أنواع المناعة هذه بشكل طبيعى أو، لأغراض العلاج والوقاية، يمك
ن تحفيزها بشكل اصطناعى. وبالتالى يمكننا التعرف على أربع فئات من
المناعة ضمن هذا التصنيف:

1. المناعة الطبيعية النشطة. هذا هو إنتاج الأجسام المضادة أو خ
لايا T الخاصة بالفرد نتيجة التعرض الطبيعى لمستضد.
2. المناعة الاصطناعية النشطة. هذا هو إنتاج الأجسام المضادة أو
خلايا T الخاصة بالفرد نتيجة التطعيم ضد أمراض مثل التيتانو
س، الإنفلونزا، أو كوفيد. تتكون معظم اللقاحات من مسببات
أمراض ميتة أو مخففة)مضعفة(يمكنها تحفيز استجابة مناعية
لكنها تسبب القليل أو لا تسبب أى إزعاج أو مرض. فى بعض ا
لحالات، تُعطى جرعات معززة دورية لإعادة تحفيز ذاكرة المناعة
والحفاظ على مستوى عالٍ من الحماية)مثل جرعات التيتانوس ا
لمعززة(.
أدى التطعيم إلى القضاء على الجدرى فى جميع أنحاء العالم وت
قليل حدوث الأمراض الطفولية المهددة للحياة بشكل كبير، ومع
ذلك تستمر الإنفلونزا وكوفيد وأمراض معدية أخرى فى الت
سبب فى وفيات كثيرة كان يمكن الوقاية منها بالتطعيم فى
مجتمع أكثر وعيًا والتزامًا. حتى شلل الأطفال، الذى كاد أن يُق
ضى عليه عالميًا، عاد مؤخرًا فى بعض البلدان بسبب الخرا
فات السياسية والمعارضة للتطعيم.
3. المناعة الطبيعية السلبية. هذه مناعة مؤقتة تنتج عن اكتساب أج
سام مضادة تم إنتاجها بواسطة شخص آخر.
الطرق الطبيعية الوحيدة لحدوث ذلك هى أن يكتسب الج
نين الأجسام المضادة من الأم عبر المشيمة قبل الولادة، أو أن ي
كتسب الطفل الأجسام المضادة أثناء الرضاعة الطبيعية.
4. المناعة الاصطناعية السلبية. هذه مناعة مؤقتة تنتج عن حقن م
صل مناعى يتم الحصول عليه من شخص آخر أو من حيوانات)
مثل الخيول(التى تمتلك أجسامًا مضادة ضد مسبب مرض
معين. يُستخدم المصل المناعى للعلاج الطارئ للدغات الأفاعى،
التسمم الغذائى)البوتوليزم(، التيتانوس، داء الكلب، وأمراض أ
خرى.

فقط شكلتا المناعة النشطة تتضمنان الذاكرة وبالتالى توفران حماية م
ستقبلية. عادةً ما تستمر المناعة السلبية لمدة أسبوعين أو ثلاثة فقط،
حتى يتحلل الجسم المضاد المكتسب. النقاش المتبقى يستند إلى ا
لمناعة الطبيعية النشطة.

21.3ب المستضدات

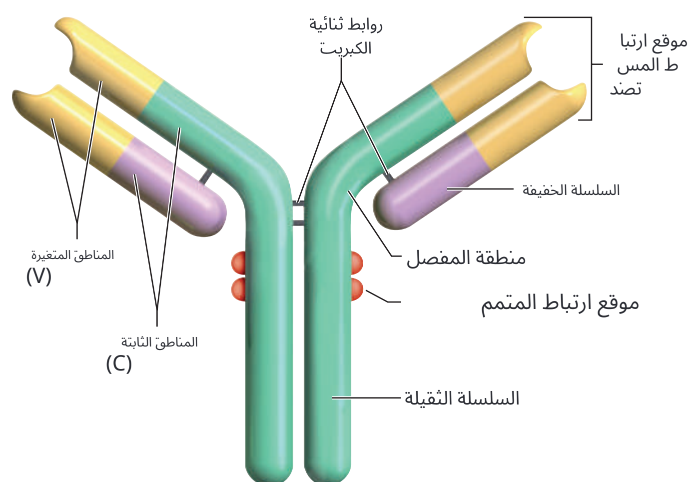
المستضد)Ag(هو أى جزيء يمكن أن يرتبط بجسم مضاد.
بعض المستضدات هى جزيئات حرة مثل السموم، والسموم، و

[20]من *hapten* =للتثبيت

[19]اختصار من مصادجسم مولد

مكون من وحدتين أحاديتين متصلتين؛ وIgM لها شكل أحادي وكذلك
خماسي الوحدة مكون من خمس وحدات أحادية. مستقبلات المس
تصد السطحية لخلايا B هي جزيئات IgD وIgG .IgM مهمة بشكل خ
اص في مناعة المولود الجديد لأنها تعبر المشيمة بسهولة نسبية. وبا
لتالي، تنقل المناعة من الأم إلى الجنين. بالإضافة إلى ذلك، يكتسب ا
لرضيع بعض IgA الأمومي من حليب الثدي واللبأ)السائل الذي يُفرز
خلال الأيام 2 أو 3 الأولى من الرضاعة(.

يُعتقد أن الجهاز المناعي البشري قادر على إنتاج
على الأقل 10 مليارات وربما حتى 1 تريليون جسم مضاد مختلف.
كل شخص يمتلك مجموعة فرعية أصغر بكثير من هذه، لكن هذا
الإمكان الهائل يساعد في تفسير سبب قدرتنا على التعامل مع
التنوع الهائل للمستضدات الموجودة في بيئتنا.
ومع ذلك، قد تبدو هذه الأعداد الضخمة محيرة، لأننا معتادون على ال
تفكير في أن كل بروتين في الجسم يُشفر بواسطة جين واحد، ولدينا
فقط أكثر قليلاً من 20,000 جين، معظمها لا علاقة له بالمناعة. كيف
يمكن لعدد قليل من الجينات توليد هذا العدد الكبير من الأجسام الم
ضادة؟ من الواضح أنه لا يمكن أن يكون هناك جين مختلف لكل جس
م مضاد. إحدى طرق توليد التنوع هي أن الجينوم يحتوي على عدة مئا
ت من مقاطع DNA التي تُعاد خلطها ودمجها بطرق مختلفة لإنتاج ح
يئات أجسام مضادة فريدة لكل نسخة من خلايا B. تُسمى هذه العملية
إعادة التركيب الجسدي)somatic recombination(، لأنها تُشكل
تركيبات جديدة من تسلسلات قواعد DNA في الخلايا الجسدية)غير ا
لتناسلية(. آلية أخرى لتوليد التنوع هي أن خلايا B في المراكز الجرثومي
ة للعقد اللمفاوية تخضع لمعدلات طفرات عالية جدًا، وهي عملية تُس
مى الطفرة الفائقة الجسدية)somatic hypermutation(— وليس
فقط



الشكل 21.20 هيكل الجسم المضاد. جزيء من IgG، أحادي الوحدة.

لديه نفس تسلسل الأحماض الأمينية، أو قريب منه، في جميع الأجسام المضادة
من فئة معينة)داخل شخص واحد(. تحدد منطقة C
آلية عمل الجسم المضاد — على سبيل المثال، ما إذا كان يمكنه
الارتباط ببروتينات المتمم.
هناك خمس فئات من الأجسام المضادة تُسمى **IgA, IgD, IgE,**
IgG, و **IgM** نسبةً إلى تراكيب مناطق C الخاصة بها)*ألفا، دلتا،*
إبسيلون، جاما، و *مو*(. كما هو موضح في الجدول 21.2، IgD, IgE و
IgG هي أحادية الوحدة؛ أما IgA فلها شكل أحادي وكذلك *ثنائي الوحدة*

TABLE 21.2 الفئات الخمسة للأجسام المضادة

الفئة	التركيب		الموقع والوظيفة
IgA		Dimer	يوجد كمونومر في بلازما الدم وبشكل رئيسي كديمر في المخاط والدموع والحليب واللعاب وإفراز ات الأمعاء. أحيانًا يشكل أيضًا تريميرات وتترامرات. يمنع الممرضات من الالتصاق بالظهارة واخترا ق الأنسجة الأساسية. يوفر مناعة سلبية للمولود الجديد.
IgD	Monomer		بروتين عابر للغشاء في خلايا ب؛ يعمل في تنشيط خلايا ب بواسطة المستضدات.
IgE	Monomer		مرتبط بمستقبل سطحي على الخلايا القاعدية وخلايا البدينة. يحفزها على إطلاق الهستامين ووسائط أخرى للالتهاب والحساسية؛ مهم في ردود الفعل التحسسية الفورية وجذب الحمضات إلى مواقع العدوى الطفيلية.
IgG	Monomer		يشكل حوالي 80% من الأجسام المضادة المتداولة في بلازما الدم. هو الجسم المضاد السائد الذي يُ فرز في الاستجابة المناعية الثانوية. IgG وIgM هما الوحيدان اللذان يمتلكان نشاط تثبيت المتمم ب شكل ملحوظ. يعبر المشيمة ويوفر مناعة مؤقتة للجنين. يشمل الأجسام المضادة المضادة لمجمو عة Rh)الأجسام المضادة anti-D(.
IgM	Monomer	Pentamer	يشكل حوالي 10% من الأجسام المضادة المتداولة في البلازما. المونومر هو بروتين عابر للغشاء في خ لايا ب، حيث يعمل كجزء من مستقبل المستضد. البنتامر يوجد في بلازما الدم واللمف. هو الجسم المضاد السائد الذي يُفرز في الاستجابة المناعية الأولية؛ يمتلك قدرات قوية على التكتل وتثبيت الم تمم؛ يشمل الأجسام المضادة لمجموعة دم ABO)anti-A وanti-B(.

أخيرًا "نشرها" إلى المواقع التى ستؤدى فيها وظيفتها المناعية.

تُنتج الخلايا التائية فى نخاع العظم الأحمر بواسطة الخلايا الجذعية المكونة للدم التى وُصفت فى الفصل 18. تدخل الخلايا التائية الوليدة إلى مجرى الدم وتسافر إلى الغدة الزعترية — "المدرسة" التى تنضج فيها لتصبح خلايا تائية وظيفية بالكامل وتواجه اختبارين صارمين "لل تخرج" يختبران فائدتها للجهاز المناعى.
عند الوصول، تذهب الخلايا التائية أولًا إلى قشرة الزعتر وتتجمع عل ى الخلايا الطهارية القشرية)انظر الشكل 21.10(. تختبر الخلايا الطهارية هذه الخلايا اللمفاوية الشابة لترى أيها سيكون قادرًا لاحقًا على التعرف ع لى المستضدات الأجنبية والخلايا العارضة للمستضد)APCs(. إذا كانت الخلية التائية تمتلك المستقبلات المناسبة للتعرف عليها، فإنها تتلقى إ شارة حماية من الخلية الطهارية تحمى حياتها. أما الخلايا التائية التى لا تستطيع التعرف عليها فلا تتلقى إشارة حماية. ومع ذلك، تحصل على فر صة "لإعادة الاختبار"؛ يمكنها إعادة ترتيب الحمض النووى لمستقبلات ا لمستضد الخاصة بها والمحاولة مرة أخرى. ولكن إذا فشلت مرة أخرى، فهى محكوم عليها بالموت. خلال 3 أو 4 أيام، تموت هذه الخلايا التائية ع ديمة الفائدة عن طريق الاستماتة)apoptosis(وتبتلعها البلعميات الق شرية. تُسمى الخلايا التائية التى تجتاز الاختبار، مطهرة قدرتها على الاس تجابة للمستضدات، بالخلايا المناعية الكفء)immunocompetent(.

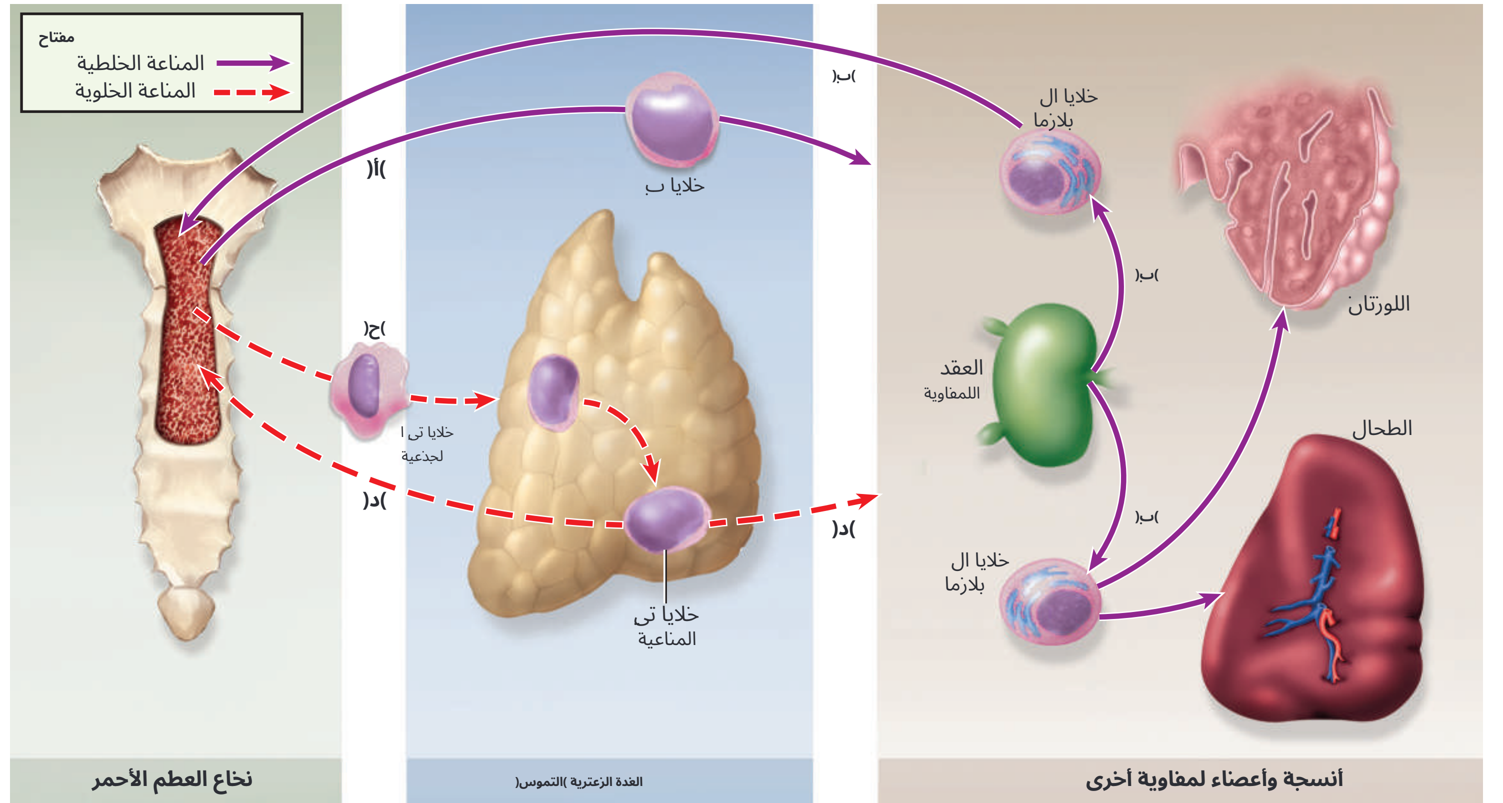
إعادة تركيب الحمض النووى الموجود مسبقًا ولكن إنشاء تسلسلات جديدة كليًا من الحمض النووى. تفسر هذه الآليات وغيرها كيف يمكن نا إنتاج تنوع هائل من الأجسام المضادة باستخدام عدد محدود من الح ينات.

21.3د الخلايا اللمفاوية

الفاعلون الرئيسيون فى الجهاز المناعى التكيفى هم الخلايا اللمفاوية، والبلعميات، والخلايا الشجرية، التى تتركز بشكل خاص فى أماكن اس تراتيجية مثل الأعضاء اللمفاوية، والجلد، والأغشية المخاطية. تنقسم ا لخلايا اللمفاوية إلى ثلاث فئات: الخلايا القاتلة الطبيعية)NK(، والخلا يا التائية، والخلايا البائية. لقد ناقشنا بالفعل دور الخلايا القاتلة الطبيع ية فى المناعة الفطرية. هنا، يجب أن نلقى نظرة أقرب على الخلايا ال تائية والبائية، وهما العاملان الرئيسيان فى المناعة التكيفية.

الخلايا التائية)الخلايا T(

تاريخ حياة الخلية التائية يتضمن أساسًا ثلاث مراحل وثلاث محطات تشريحية فى الجسم)الشكل 21.21(. يمكننا التفكير بشكل غير رسم ى فى هذه المراحل على أنها "ميلادها"، و"تدريبها" أو نضوجها، و



الشكل 21.21 تاريخ حياة وهجرات خلايا B و T. يتم تمثيل المناعة الخلطية بالمسارات البنفسجية والمناعة الخلوية باللون الأحمر.)أ(تحقق خلايا B الكفاءة الم ناعية فى نخاع العظم الأحمر)يسار(، ويهاجر العديد منها إلى الأنسجة والأعضاء اللمفاوية، بما فى ذلك العقد اللمفاوية، اللوزتين، والطحال)يمين(.)ب(تتط ور الخلايا البلازمية فى العقد اللمفاوية)من بين مواقع أخرى(وتهاجر إلى نخاع العظم وأعضاء لمفاوية أخرى، حيث تقضى بضعة أيام فى إفراز الأجسام المضادة.) ح(تهاجر خلايا T الجذعية من نخاع العظم وتكتسب الكفاءة المناعية فى الغدة الزعترية.)د(تهاجر خلايا T الكفؤة من الغدة الزعترية وتستعمر نخاع العظم من جد يد أو تستعمر مختلف الأعضاء اللمفاوية)يمين(.

كما الخلايا التائية)الشكل 21.21أ، ب(. وهى وفيرة فى العقيدات اللم فاوية للعقد اللمفاوية وفى الطحال، ونخاع العظم، والأغشية المخاطية.

21.3هـ الخلايا العارضة للمستضد

على الرغم من أن وظيفة الخلايا التائية هى التعرف على المستضدات الأجن بية ومهاجمتها، إلا أنها عادة لا تستطيع القيام بذلك بمفردها. فهى تحتاج إلى مساعدة الخلايا العارضة للمستضد)APCs(. بالإضافة إلى أدوارها الأخرى، تعمل الخلايا الشجرية، والبلعميات، والخلايا البائية كخلايا عارضة للمستضد.
تعتمد وظيفة الخلايا العارضة للمستضد على عائلة من الجينات تسمى مجمع التوافق النسيجى الرئيسى)MHC(على الكروموسوم 6 . هذه الجينات ترمز لبروتينات MHC — وهى بروتينات على سطح ال خلية العارضة للمستضد تشبه قليلاً شكل خبز الهوت دوح، مع أخدود ممتد لحمل "الهوت دوح" الخاص بالمستضد الأجنبى. بروتينات MH C فريدة من نوعها لكل شخص باستثناء التوائم الم تماثلة. وتعمل كبطاقات تعريف "تُعلّم" كل خلية فى جسمك بأنها تخ صك.
عندما تلتقى الخلية العارضة للمستضد بمستضد، فإنها تبتلعه ع ن طريق الابتلاع الخلوى، ثم تهضمه إلى شظايا جزيئية، وتعرض الشظ ايا ذات الصلة)الإيبتوبات(فى أخاديد بروتينات MHC)الشكل 21.2 2أ(. تُسمى هذه الخطوات معالجة المستضد.
تفحص الخلايا التائية المتجولة بانتظام الخلايا العارضة للمستضد بحثًا عن المستضدات المعروضة)الشكل 21.22ب(. إذا عرضت الخلية العارضة مستضدًا ذاتيًا، تتجاه له الخلايا التائية. أما إذا عرضت مستضدًا غير ذاتى، فإنها تبدأ الهجوم. وبالتالى تنبه الخلايا العارضة للمستضد الجهاز المناعى بوجود مست ضد أجنبى. والمفتاح للدفاع الناجح هو التعبئة السريعة للخلايا المناعي ة ضده.
مع وجود العديد من أنواع الخلايا المشاركة فى المناعة، ليس من الم ستغرب أنها تحتاج إلى رسائل كيميائية لتنسيق أنشطتها. تتواصل اللمفاو يات والخلايا العارضة للمستضد مع بعضها البعض بواسطة السيتوكينات المسماة الإنترلوكينات[22]— وهى إشارات كيميائية من كريات الدم البيضا ء)أو مشتقاتها(إلى أخرى.
مع هذا التقديم للفاعلين الرئيسيين فى المناعة، يمكننا الآن النظ ر فى الخصائص الأكثر تحديدًا للمناعة الخلوية والمناعة الخلطية. ونظرًا لتعقيد مصطلحات الخلايا المناعية والمواد الكيميائية، قد تجد من ال مفيد الرجوع كثيرًا إلى الجدول 21.4)المقدم كملخص فى نهاية القس م 21.5(أثناء قراءة المناقشات التالية.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

11. كيف يختلف المناعة التكيفية عن المناعة الفطرية؟
12. كيف تختلف المناعة الخلطية عن المناعة الخلوية؟
13. قارن بين المناعة النشطة والمناعة السلبية. قدم أمثلة طبيعية و صناعية لكل منهما.
14. ما هى الخصائص الهيكلية التى تميز الجزيئات المستضدية عن تلك التى ليست مستضدية؟
15. صف هيكل مونومر الجسم المضاد واذكر أى جزء منه يرتبط بالمستضدات.

العملية القشرية لاختيار عدد قليل من خلايا T التى تثبت كفاءتها المناعية تُسمى الانتقاء الإيجابى. فقط نسبة صغيرة منها تجتاز هذا "ا لاختبار النهائى" القشرى وتحصل على الفرصة للانتقال إلى "الدراسات العليا"، وهى النخاع. هذا يفسر لماذا يبدو النخاع فى الغدة الزعترية أ فتح بكثير من القشرة فى المقاطع النسيجية)انظر الشكل 21.10ب(، يشبه إلى حد ما أعداد الطلاب فى الدراسات العليا مقارنة بالمرحلة الح امعية.

ولكن مثل طلاب الدراسات العليا، تواجه خلايا T فى النخاع اخت بارًا صعبًا آخر. المزيد من خلايا T محكوم عليها بالفشل وربما الموت. هنا، يكون الممتحنون هم البلاعم والخلايا الشبكية. على عكس خلايا ا لطهارة القشرية، هذه الخلايا مشتقة من نخاع العظم وتختبر خلايا T ب طريقة مختلفة. دورها هو التخلص من خلايا T التى تتفاعل مع مست ضدات الجسم الخاصة أو مع خلايا تقديم المستضد الخاصة بالجسم حتى فى غياب المستضد. مثل هذه الخلايا المفرطة التفاعل قد تشك ل تهديدًا مستقبليًا إذا هاجمت أنسجة الجسم الخاصة. وبسبب عيو ب فى الجهاز المناعى، يحدث هذا أحيانًا على أى حال، مما يسبب أمر اض المناعة الذاتية الشهيرة التى سيتم وصفها لاحقًا فى القسم 21.6 ب. ولكن لتقليل هذا الخطر، تعرض البلاعم والخلايا الشبكية على خلا يا T المستضدات الذاتية وبروتينات ربط المستضد المسماة MHCs) سيتم شرحها قريبًا(. فى إحدى النظريات، تُقتل خلايا T التى تتفاعل بقوة مفرطة مع هذه المستضدات عن طريق الموت المبرمج)الاستما تة(.هناك أيضًا أدلة، مع ذلك، على أن الأجسام الزعترية تفرز إشارة) سيتوكين(تجعل هذه الخلايا الذاتية التفاعل غير نشطة بشكل دائم)ح الة تسمى اللااستجابة[21](أو تحولها إلى خلايا T تنظيمية التى تُخفف م ن نشاط خلايا T السامة)القاتلة(
خلايا T التى تهاجم الخلايا الأجنبية فعليًا. فى كل الأحوال، يُسمى الق ضاء أو التحويل لخلايا T الذاتية التفاعل الانتقاء السلبى، ويترك الجهاز المناعى فى حالة تحمل ذاتى — امتناع عن مهاجمة أنسجة الجسم ال خاصة.
فقط حوالى 2% من خلايا T تبقى على قيد الحياة بعد الانتقاء الإيجا بى والسلبى؛ يتم القضاء على 98%، خاصةً عن طريق الانتقاء الإيجابى.)وتظن أن امتحاناتك النهائية صعبة!(القلة الناجية تتكاثر وتشكل نسخً ا من خلايا T متطابقة مبرمجة للاستجابة لمستضد معين. هذه الخلايا، التى هى كفؤة مناعياً لكنها لم تواجه بعد عدوًا)مستضدًا أجنبيًا(، تش كل مجموعة اللمفاويات الساذجة. تغادر خلايا T الساذجة الغدة الزعتر ية عبر الأوعية الدموية واللمفاوية)لا يوجد حاجز دم-زعتر فى النخاع(، و تنتشر فى جميع أنحاء الجسم، وتستوطن الأنسجة والأعضاء اللمفاوية فى كل مكان)العقد اللمفاوية، اللوزتين، نخاع العظم، وهكذا( )الشكل 21.21د(. تصبح مركزة بشكل خاص فى القشرة العميقة للعقد اللمفاو ية. وهى الآن جاهزة للقتال.

الخلايا اللمفاوية B)خلايا B(

يحدث نضج خلايا B بالكامل داخل نخاع العظم الأحمر.
ينتج البالغون حوالى 50 مليون خلية ب يوميًا، لكن 10% فقط تدخل ا لدورة الدموية العامة. أما الـ 90% الأخرى فيبدو أنها تُدمّر خلال عملية الانتقاء الإيجابى والسلبى فى نخاع العظم. تستمر خلايا ب المتسامحة مع الذات التى تنجو من الانتقاء فى التكاثر وتكوين نسائل خلايا ب ال مناعية الكفاءة. تنتشر هذه الخلايا فى جميع أنحاء الجسم وتستوطن ن فس الأعضاء

---

[22] *لين* = بين؛ *لوك* = كريات الدم البيضاء

[21] *أن* = بدون؛ *إرغ* = عمل، نشاط

21.4 المناعة الخلوية APR

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. سرد أنواع الخلايا اللمفاوية المشاركة في المناعة الخلوية ووصف الأدوار التي تلعبها؛

ب. وصف عملية عرض المستضد وتنشيط الخلايا التائية ؛

ج. وصف كيفية تدمير الخلايا التائية للخلايا العدوة؛ و

د. شرح دور خلايا الذاكرة في المناعة الخلوية.

المناعة الخلوية)المناعة المعتمدة على الخلايا(هي شكل من أشكال المناعة التكيفية التي تهاجم فيها الخلايا اللمفاوية التائية مباشرة الخلايا المريضة أو الغريبة وتدمرها، ويتذكر الجهاز المناعي مستضدات هؤلاء الغزاة ويمنعهم من التسبب في المرض في المستقبل. هناك ما لا يقل عن 15 نوعًا من الخلايا التائية يتم اكتشاف أنواع جديدة منها باستمرار، لكن الأنواع الأربعة الرئيسية المهمة لمناقشتنا هي:

1. خلايا تي السامة للخلايا)CT(هي "الفاعلات" للمناعة الخلوية التي تقوم بالهجوم على الخلايا الغريبة.

2. خلايا T المساعدة)HT(تعزز عمل خلايا T القاتلة)CT(كما تلعب أدوارًا رئيسية في المناعة الخلطية والفطرية. جميع خلايا T الأخرى تشارك فقط في المناعة الخلوية.

٣. خلايا تي التنظيمية)RT(، أو T-regs، تحد من الاستجابة المناعية عن طريق تثبيط التكاثر وإفراز السيتوكينات من قبل خلايا تي الأخرى. بمجرد هزيمة العامل الممرض، من المهم تقليل نشاط خلايا تي القاتلة)CT(، لأنه خلاف ذلك ستستمر خلايا تي القاتلة في إنتاج السيتوكينات الالتهابية التي قد تسبب تلفًا واسع النطاق في الأنسجة على المدى الطويل. تمنع خلايا تي التنظيمية)RT(هذا وتقلل من خطر تطور الأمراض المناعية الذاتية.

4. خلايا الذاكرة (T)MT تنحدر من خلايا CT وهي مسؤولة عن الذاكرة في المناعة الخلوية. وبالتالي، تحافظ على يقظة الجسم ضد ممرض معين دون التسبب في الضرر الذي قد تسببه مجموعة مستمرة من خلايا CT

تُعرف خلايا TC أيضًا باسم T8 أو CD8 أو +CD8 لأنها تحتوي على جليكوبروتين سطحي يُسمى CD8. كما تُعرف خلايا TH و TR أيضًا باسم T4 أو CD4 أو +CD4، نسبةً إلى جليكوبروتينها CD4. (CD تعني مجموعة التمايز، وهو نظام تصنيف للعديد من جزيئات سطح الخلية.) هذه الجليكوبروتينات هي جزيئات التصاق خلوية تُمكّن خلايا T من الارتباط بالخلايا الأخرى في الأحداث التي سيتم وصفها لاحقًا.

يحدث كل من المناعة الخلوية والمناعة الخلطية في ثلاث مراحل يمكننا اعتبارها التعرف، الهجوم، والذاكرة)أو "الثلاثة مراحل المناعة" — التعرف، التفاعل، والتذكر(. في المناعة الخلوية، تكون أحداث كل مرحلة كما يلي.

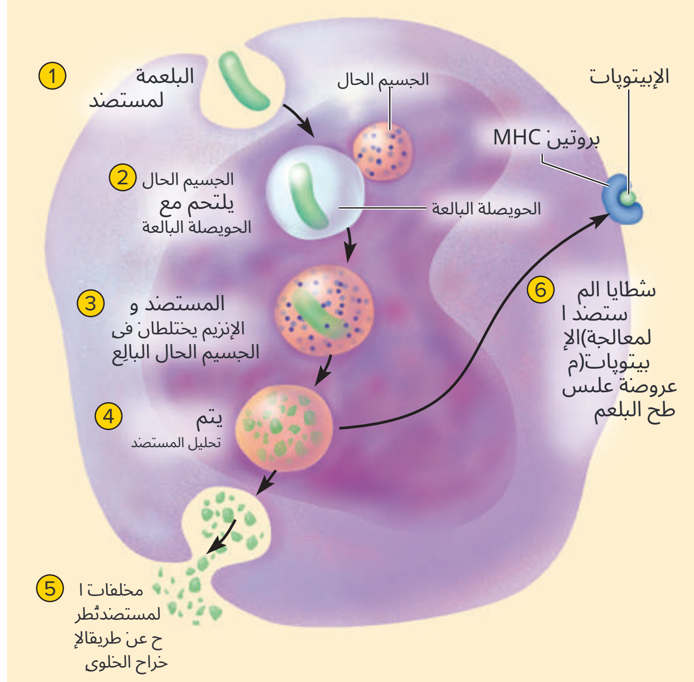
21.4أ التعرف

للفترة التعرفية جانبان: عرض المستضد وتنشيط الخلايا التائية.

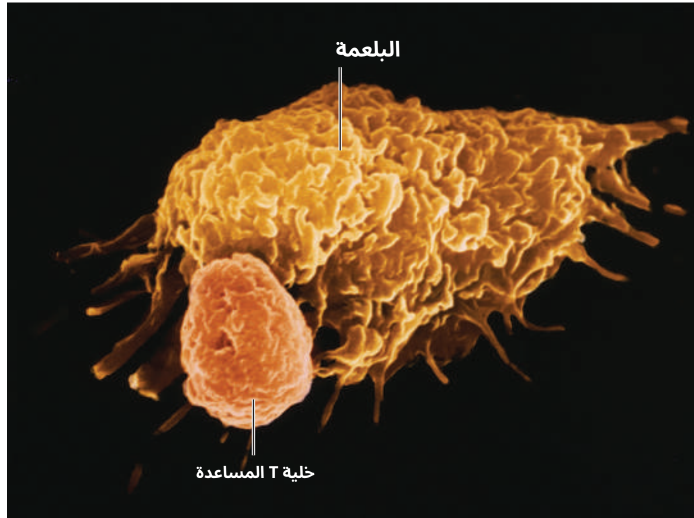
16. ما هو اللمفاوي المؤهل مناعياً؟ ماذا يجب أن ينتج اللمفاوي ليصبح مؤهلاً مناعياً؟

17. ما الدور الذي يلعبه الغدة الزعترية في تاريخ حياة خلية T؟

18. ما الدور الذي تلعبه الخلية العارضة للمستضد في تفعيل خلية T؟



)أ(



)ب(

الشكل 21.22 عمل خلايا عرض المستضد)APCs(.
)أ(مراحل معالجة وعرض المستضد بواسطة خلية مقدمة للمستضد مثل البلاعم.)ب(البلاعم تعرض المستضد المعالج على خلية تي المساعدة.

ب: CNRI/Science Source

عرض المستضد

عندما تلتقى خلية مقدمة للمستضد)APC(بمستضد وتعالجه، فإنها عادةً ما تهاجر إلى أقرب عقدة لمفاوية وتعرضه على خلايا T. تقوم خلا يا T السامة والمساعدة بدوريات فى العقد اللمفاوية والأنسجة الأخرى كما لو كانت تبحث عن مشاكل. عندما تصادف خلية تعرض مستضدً ا على بروتين MHC، فإنها تبدأ استجابة مناعية. تستجيب خلايا T لنوع ين من بروتينات MHC:

1. *بروتينات MHC-I* توجد على كل خلية تحتوى على نواة فى الجسم)باستثناء كريات الدم الحمراء(. تُنتج هذه البروتينات باستمرار من قبل الخلية وتُنقل إلى غشاء البلازما. وأثناء الانتقال، تلتقط ببتيدات صغيرة من السيتوبلازم وتعرضها بمجرد تركيبها فى الغشاء. إذا كانت الببتيدات مستضدات ذاتية طبيعية، فإنها لا تثير استجابة خلايا T. أما إذا كانت بروتينات فيروسية أو مستضدات غير طبيعية تصنعها خلايا سرطانية، فإنها تفعل ذلك. فى هذه الحالة، يكون مركب المستضد–برو تين MHC مثل علامة على الخلية المص يفة تقول: "أنا مريضة؛ اقتلنى." تُدمر الخ لايا المصابة أو الخلايا الخبيثة ، ويفضل أ ن يكون ذلك قبل أن تسبب ضررًا إضافيًا للجسم.
2. *بروتينات MHC-II*)تُسمى أيضًا *مستضدات الكريات البيضاء البشرية، HLAs*(توجد فقط على خ لايا APC وتعرض فقط المستضدات الأجنبية.

عندما تنضج خلايا T فى الغدة الزعترية وتخ ضع لعملية الانتقاء الإيجابى والسلبى التى وُص فت سابقًا، تصبح محدودة فى التعرف على فئة محددة من بروتينات MHC. تُسمى هذه العمل ية تقييد MHC، وتؤدى إلى استجابة خلايا CT فقط لبروتينات MHC-I وخلايا HTفقط لبروتينا ت MHC-II

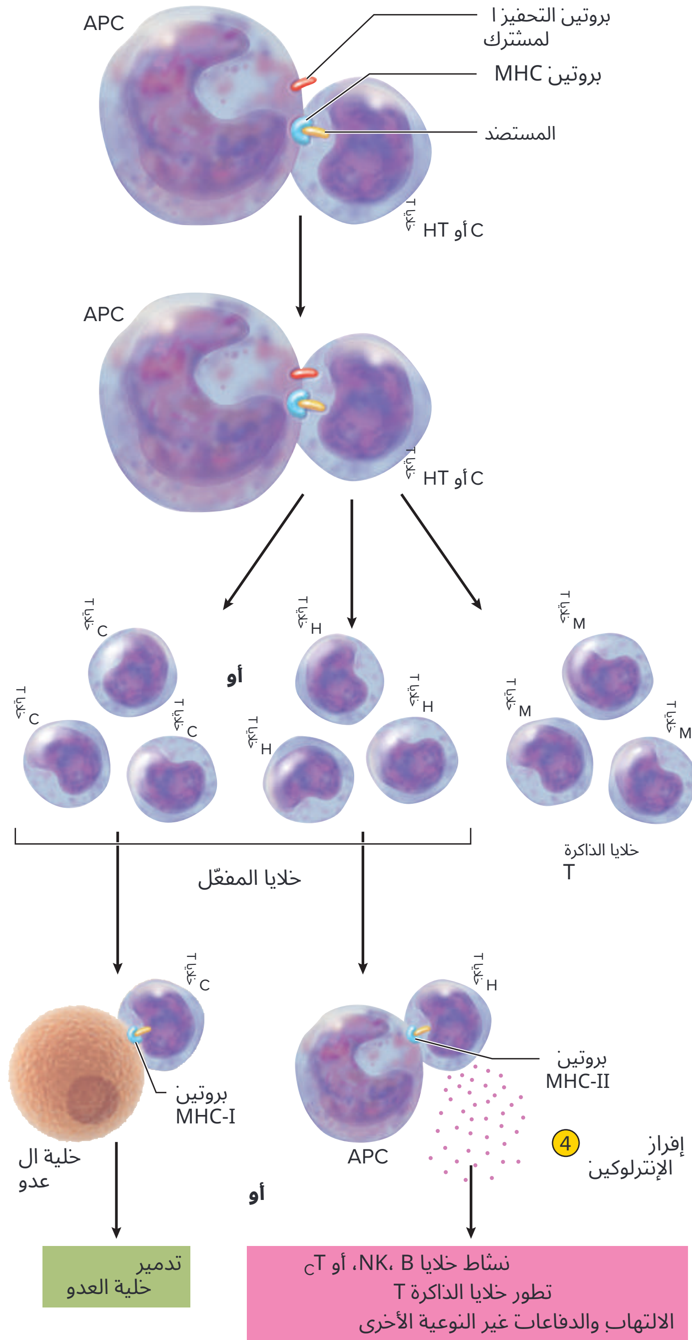
)الجدول 21.3(.

مقارنة بين استجابات خلايا T السامة وخلايا T المساعدة	TABLE 21.3	
الخاصية	خلايا C T	خلايا TH
الخلايا القادرة على تحفيز استجابة	أى خلية ذات نواة	خلايا عر ض المستضد
بروتين MHC (مستضد التوافق النسيجي من الفئة)	MHC-I	MHC-II

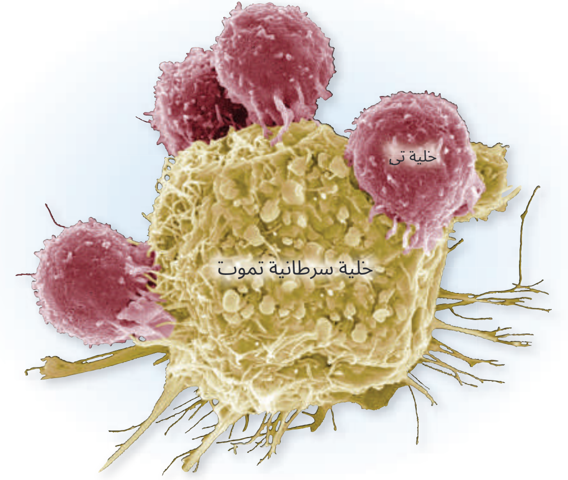
تنشيط خلايا T

يُوضح تنشيط خلايا T فى الشكل 21.23. يبدأ عندما ترتبط خلية T_C أو T_H ببروتين MHC يعرض إبوتوبًا محددًا مبرمجًا لخلايا T للتعرف عليه. قبل أن تستمر الاستجابة، يجب على خلية T أن ترتبط ببروتين آخر، مرتبط بالإنترلوكينات، موجود على سطح خلايا APC فى الأنسجة التالفة أو المصابة. بمعنى ما، يجب على خلية T التحقق مرتين للتأكد من أنها ترتبط فعلاً بخلية APC تعرض مستضدًا مشتبهًا به. تُسمى هذه العملية الإشارية التنشيط المشترك، وتساعد على ضمان أن الجهاز المناعى لا يشن هجومًا فى غياب عدو، مما قد يتسبب فى مهاجمة الجسم نفسه بعواقب ضارة.

نقص التحفيز المشترك يدفع خلية T إلى *حالة الخمول*، وهى حالة من عدم النشاط وعدم الفعالية.



الشكل 21.23 تنشيط خلية T.



الشكل 21.25 تدمير خلية سرطانية بواسطة خلايا تى السامة

.

ستيف غشمايسنر / مصدر العلوم

مع استدعاء المزيد والمزيد من الخلايا بواسطة خلايا T المساعدة، تمارس الاستجابة المناعية قوة ساحقة ضد الممرض. الاستجابة الأو لية، التى تظهر عند التعرض الأول لممرض معين، تبلغ ذروتها فى حوا لى أسبوع ثم تنخفض تدريجيًا.

▶▶▶ طبق ما تعرفه
كيف تشبه خلية T السامة خلية القاتل الطبيعى (NK)؟ كيف تختلفان؟

21.4ح الذاكرة

تتبع الاستجابة الأولية الذاكرة المناعية. بعد الانتقاء النسلى، تصبح بع ض خلايا T خلايا ذاكرة. هذه الخلايا طويلة العمر وأكثر عددًا بكثير من خلايا T الساذجة.
بعيدًا عن أعدادها الكبيرة، فإنها تتطلب أيضًا خطوات أقل لتفعيلها، وبالتالى تستجيب للمستضدات بشكل أسرع.
عند التعرض مرة أخرى لنفس العامل الممرض فى وقت لاحق من الحيا ة، تقوم خلايا الذاكرة بشن هجوم سريع يُسمى استجابة استدعاء خلايا T. تدمر هذه الاستجابة الموفر للوقت العامل الممرض بسرعة بحيث لا يحدث مرض ملحوظ — أى أن الشخص يكون محصناً ضد المرض.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

19. اذكر أربعة أنواع من الخلايا اللمفاوية المشاركة فى المناعة ا لخلوية. أى من هذه الأنواع ضرورى أيضاً للمناعة الخلطية؟

20. ما هى المراحل الثلاث للاستجابة المناعية؟

21. اشرح لماذا يتم تنشيط خلايا T السامة من قبل مجموعة أوسع م ن خلايا المضيف مقارنة بخلايا T المساعدة.

22. صف بعض الطرق التى تدمر بها خلايا T السامة الخلايا المس تهدفة.

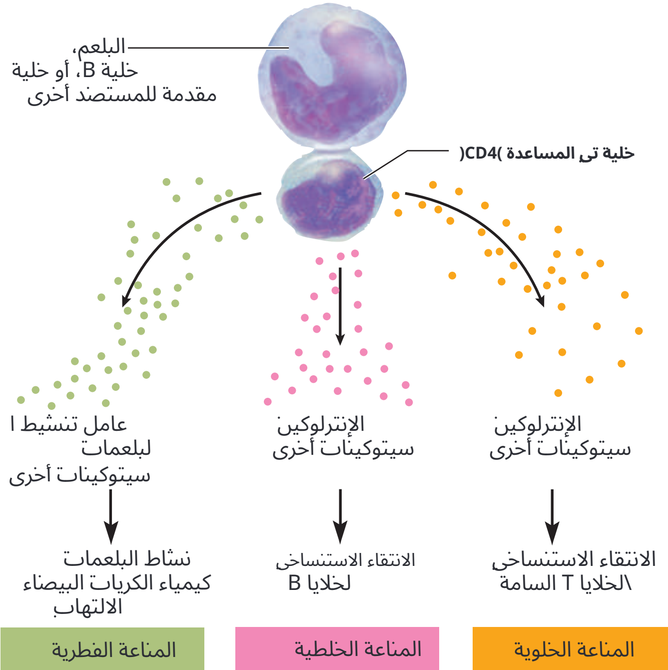
على النقيض من ذلك، يُفعِّل عملية الاختيار الاستنساخى: تمر خلية T بانقسام متكرر، مما يؤدى إلى نشوء نسخ متطابقة من خلايا T مبرمجة ضد نفس الإبيتوب. تصبح بعض الخلايا فى النسخ خلايا فعالة تقوم بهجوم مناعى، وبعضها
يصبح خلايا ذاكرة (T_M T).

21.4ب الهجوم

تلعب خلايا T المساعدة والسامة أدوارًا مختلفة فى مرحلة الهجوم.
خلايا T المساعدة (T_H) ضرورية لمعظم الاستجابات المناعية. تلعب د ورًا مركزيًا فى التنسيق بين المناعة الخلطية والخلوية (الشكل 21.24)
. عندما تتعرف خلية T_H على مركب Ag–MHC البروتيني، تفرز الإنتر لوكينات التى تؤدى إلى ثلاثة تأثيرات: (1) جذب العدلات وخلايا القاتل الطبيعى؛ (2) جذب البلاعم، وتحفيز نشاطها البلعم، ومنعها من مغادر ة المنطقة؛ و(3) تحفيز انقسام ونضج خلايا T وB.

خلايا T السامة (T_C) هى خلايا T الوحيدة التى تهاجم وتقتل الخلا يا الأخرى مباشرة (الشكل 21.25). عندما تتعرف خلية T_C على مرك ب من المستضد وبروتين MHC-I على خلية مريضة أو أجنبية، فإنها "تتثبت" على تلك الخلية، وتوجه ضربة قاتلة من المواد الكيميائية التى ستدمرها، ثم تذهب للبحث عن خلايا عدو أخرى بينما تقوم المواد ال كيميائية بعملها. من بين هذه المواد الكيميائية

- *البيرفورين و الغرانزيمات*، التى تقتل الخلية المستهدفة بنفس الط ريقة التى رأيناها سابقًا فى خلايا القاتل الطبيعى (انظر الشكل 21.17)؛
- *الإنترفيرونات*، التى تثبط تكاثر الفيروسات وتستدعى وتحفز البلاعم، من بين تأثيرات أخرى؛ و
- *عامل نخر الورم (TNF)*، الذى يساعد فى تنشيط البلاعم وى قتل خلايا السرطان.



الشكل 21.24 الدور المركزى لخلايا T المساعدة فى المناعة الفطرية، المناعة الخلطية، والمناعة الخلوية.

● لماذا يقلل الإيدز من فعالية الدفاعات الثلاثة المذكورة فى أسفل الشكل؟ (تلميح: انظر القسم 21.6ح.)

21.5 المناعة الخلطية

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. شرح كيف تتعرف خلايا ب على المستضد وتستجيب له؛

ب. وصف أفعال الأجسام المضادة ضد العوامل الممرضة؛

ح. شرح آلية الذاكرة فى المناعة الخلطية؛ و

د. مقارنة وتباين بين المناعة الخلوية والمناعة الخلطية.

المناعة الخلطية هى طريقة دفاع أكثر غير مباشرة مقارنة بالمناعة الخلوية. بدلاً من مهاجمة الخلايا المعادية مباشرة، تقوم الخلايا اللمفاوية B فى المناعة الخلطية بإنتاج أجسام مضادة ترتبط بالمستضدات وتعلم عليها لتدميرها بوسائل أخرى. ولكن مثل المناعة الخلوية، تعمل المناعة الخلطية فى ثلاث مراحل: التعرف، الهجوم، والذاكرة.

21.5أ التعرف

تمتلك خلية B المناعية الكفؤة آلاف المستقبلات السطحية لمستضد واحد. يبدأ تنشيط خلية B عندما يرتبط مستضد بعدة من هذه المستقبلات، ويربطها معًا، ويتم إدخالها إلى الخلية عن طريق الالتقام الخلوى الوسيط بالمستقبلات)قارن الشكل 3.21(. أحد أسباب عدم تحفيز الجزيئات الصغيرة للمناعة هو صغر حجمها بحيث لا يمكنها ربط عدة مستقبلات معًا. بعد الالتقام الخلوى، تقوم خلية B بمعالجة)هضم(المستضد، وترتبط بعض المواقع المحددة)الإبيتوبيات(ببروتينات MHC-II الخاصة بها، وتعرضها على سطح الخلية. وهكذا، تعمل خلية B نفسها كخلية عارضة للمستضد.

عادةً، لا تستمر استجابة خلية B إلا إذا ارتبطت خلية T مساعدة بهذا المركب Ag–MHC.)بعض خلايا B تنشط مباشرة بواسطة المستضدات دون مساعدة خلية T مساعدة(. عندما ترتبط خلية T مساعدة بالمركب، تفرز الإنترلوكينات التى تنشط خلية B. هذا يحفز الانتقاء الاستنساخى—انقسام خلية B مكونًا كتيبة من خلايا B متطابقة مبرمجة ضد ذلك المستضد)الشكل 21.26(.

تتخصص معظم خلايا النسيلة إلى خلايا بلازمية. هذه الخلايا أكبر من خلايا B وتحتوى على وفرة من الشبكة الإندوبلازمية الخشنة)الشكل 21.27(. تتطور الخلايا البلازمية بشكل رئيسى فى المراكز الجرثومية لعقد لمفاوية فى العقد اللمفاوية. يبقى حوالى 10% منها فى العقد اللمفاوية، لكن الباقى يغادر العقد، ويستوطن فى نخاع العظم وأماكن أخرى، وهناك ينتج الأجسام المضادة حتى تموت.

وظيفة الخلية البلازمية هى تصنيع وإفراز الأجسام المضادة، التى تفرزها بمعدل مذهل يبلغ 2000 جزىء فى الثانية على مدى عمر يتراوح بين 4 إلى 5 أيام. تنتقل هذه الأجسام المضادة فى جميع أنحاء الجسم عبر الدم وسوائل الجسم الأخرى. فى المرة الأولى التى تتعرض فيها لمستضد معين، تقوم خلايا البلازما بإنتاج فئة من الأجسام المضادة تُسمى IgM بشكل رئيسى. فى التعرضات اللاحقة لنفس المستضد، تنتج بشكل رئيسى IgG.

21.5ب الهجوم

بمجرد إفرازها من قبل خلية البلازما، تستخدم الأجسام المضادة أربع آليات لجعل المستضدات غير ضارة:

1. التعادل يعنى إخفاء المناطق الحرجة لجزىء المستضد بواسطة الأجسام المضادة. فقط مناطق معينة من المستضد تكون ممرضة — على سبيل المثال، أجزاء جزىء السم أو الفيروس التى تمكن هذه العوامل من الارتباط بالخلايا البشرية. يمكن للأجسام المضادة تحييد المستضد عن طريق إخفاء هذه المناطق النشطة.

2. تثبيت المُكمل هو إجراء ترتبط فيه الأجسام المضادة ببروتينات المكمل على خلية العدو، مما يؤدى إلى تدميرها. ترتبط IgM وIgG بخلايا العدو وتغير شكلها، كاشفة عن مواقع ارتباط المكمل)انظر الشكل 21.20(. هذا يبدأ ارتباط المكمل بسطح خلية العدو ويؤدى إلى الالتهاب، البلعمة، إزالة المناعة، والتحلل الخلوى، كما وُصف سابقًا)انظر الشكل 21.15(. تثبيت المكمل هو الآلية الأساسية للدفاع ضد الخلايا الغريبة مثل البكتيريا وكريات الدم الحمراء غير المتطابقة. يقوم بتغطية البكتيريا ويجعل من السهل على البلعميات ابتلاعها وتدميرها.

3. التجمع هو تكتل خلايا العدو بواسطة الأجسام المضادة، كما وُصف سابقًا فى مناقشة فصائل الدم ABO وRh فى الفصل 18. وهو فعال ليس فقط فى حالات نقل الدم غير المتطابقة، بل والأهم كدفاع ضد البكتيريا. يحتوى جزىء الجسم المضاد على 2 إلى 10 مواقع ارتباط؛ وبالتالى، يمكنه الارتباط بجزيئات المستضد على خليتين أو أكثر من خلايا العدو فى نفس الوقت وربطها معًا)الشكل 21.28أ(. هذا يعطل الميكروبات والخلايا الغريبة الأخرى ويمنعها من الانتشار عبر الأنسجة. علاوة على ذلك، يمكن للعدلات والبلعميات ابتلاع تجمعات البكتيريا المتجمعة بكفاءة أكبر من ابتلاع البكتيريا واحدة تلو الأخرى.

4. الترسيب هو عملية مشابهة يتم فيها تجميع جزيئات المستضد)وليس الخلايا الكاملة(عن طريق الالتصاق بالأجسام المضادة)الشكل 21.28ب(. هذا يخلق مركبات كبيرة من Ag–Ab يمكن إزالتها بواسطة إزالة المناعة أو ابتلاعها بواسطة الحمضات.

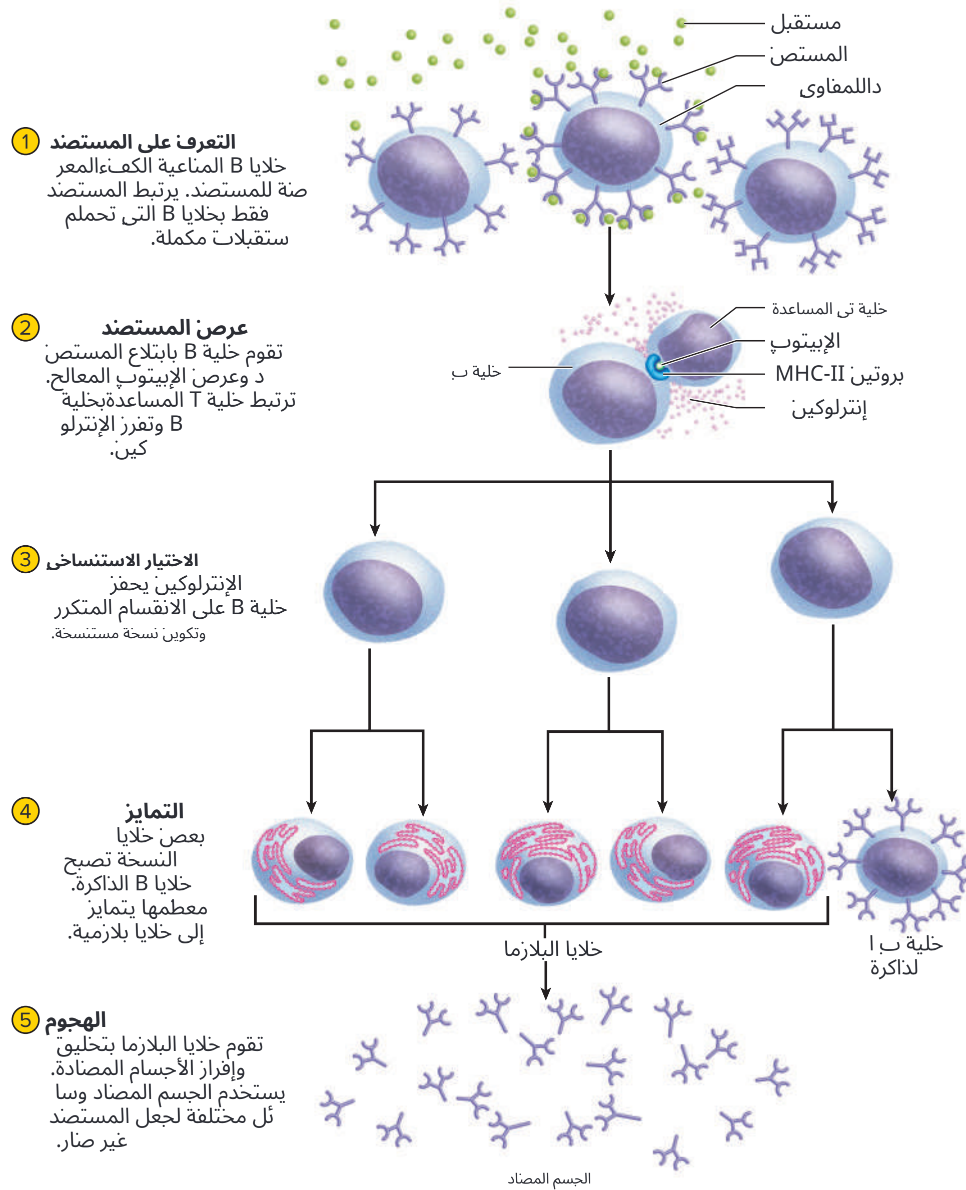
لاحظ أن الأجسام المضادة لا تدمر المستضد مباشرة فى أى من هذه الآليات. بل تجعلها غير ضارة بالآليات المذكورة وتعلم عليها لتدميرها بواسطة عوامل أخرى مثل المكمل، البلعميات، أو الحمضات.

▶▶▶ طبق ما تعرفه

اشرح لماذا تمتلك IgM قدرة تجمع أقوى من الأجسام المضادة من أى فئة أخرى.

21.5ح الذاكرة

عندما يتعرض الشخص لمستضد معين لأول مرة، يُطلق على التفاعل المناعى الخلطى اسم الاستجابة الأولية. يتأخر ظهور الأجسام المضادة الواقية



الشكل 21.26 الانتقاء الاستنساخى والأحداث التالية للاستجابة المناعية الخلطية.

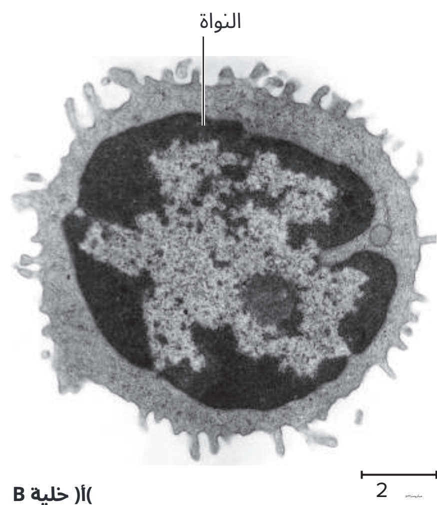
تتشكل خلايا البلازما خلال ساعات، لذا يرتفع مستوى IgG بسرعة وى بلغ ذروته خلال بضعة أيام. تكون الاستجابة سريعة جدًا بحيث لا يتاح للمستضد فرصة لإحداث تأثير ملحوظ على الجسم، ولا ينتج عن ذلك مرض. كما يُفرز مستوى منخفض من IgM وينخفض بسرعة، لكن IgG يبقى مرتفعًا لأسابيع إلى سنوات، مما يمنح حماية دائمة. ومع ذلك، لا تدوم الذاكرة لفترة طويلة فى المناعة الخلطية كما هو الحال فى المناعة الخلوية.

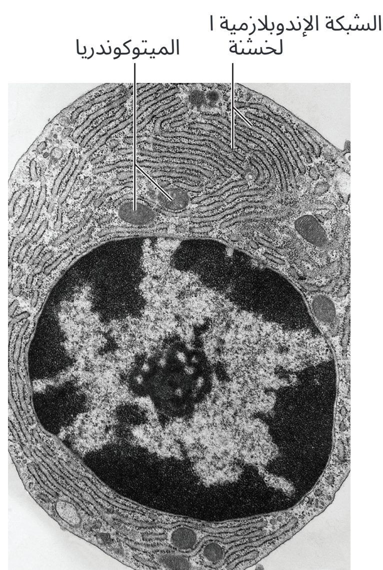
كمرجع ومراجعة لك، الجدول 21.4 يلخص العديد من العوامل الخلوية والكيميائية المشاركة فى المناعة الخلطية والمناعة الخلوية. الجدول 21.5 يقارن بين الميزات الرئيسية للمناعة الخلطية والمناعة الخلوية. تذكر أن هذين العمليتين غالبًا ما تحدثان فى نفس الوقت، وبالتزامن مع الالتهاب كجزء من هجوم ثلاثى الأبعاد على نفس الممرض.

لمدة 3 إلى 6 أيام بينما تتكاثر خلايا ب الساذجة وتتمايز إلى خلايا بلازما. مع بدء خلايا البلازما فى إفراز الأجسام المضادة، يبدأ مستوى الأجسام المضادة (التركيز فى بلازما الدم) فى الارتفاع (الشكل 21.29). يظهر IgM أولاً، ويبلغ ذروته فى حوالى 10 أيام، ثم ينخفض بسرعة. ترتفع مستويات IgG مع انخفاض IgM، لكن حتى تركيز IgG ينخفض إلى مستوى منخفض خلال شهر.

ومع ذلك، يترك الاستجابة الأولية ذاكرة مناعية للمستضد. خلال الانتقاء النسلى، يصبح بعض أعضاء النسيلة خلايا B الذاكرة بدلاً من خلايا البلازما (انظر الشكل 21.26). خلايا B الذاكرة، الموجودة بشكل رئيسى فى مراكز الجرثومية للعقد اللمفاوية، تُحدث استجابة ثانوية أو منشطة للذاكرة[23] (an-am-NESS-tic) إذا تعرضت لنفس المستضد مرة أخرى.

[23] *and* = عودة؛ *mnes* = تذكر

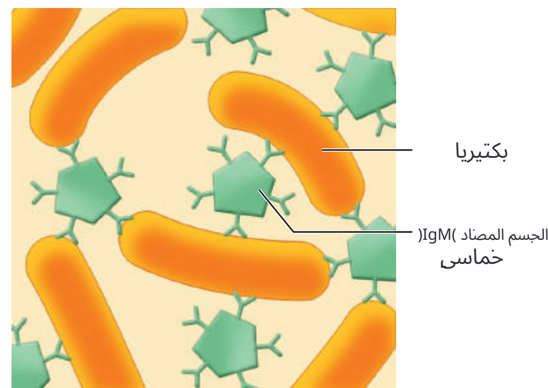


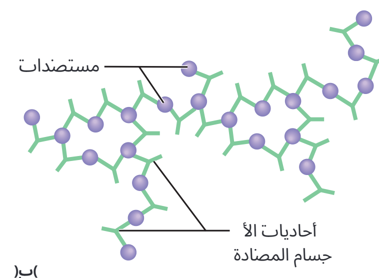


الشكل 21.27 خلية ب وخلايا البلازما.)أ(خلايا ب تحتوى على سيتوبلازم قليل وعضيات نادرة.)ب(خلية بلازما، التى تتمايز من خلية ب، تحتوى على وفرة من الشبكة الإندوبلازمية الخشنة.

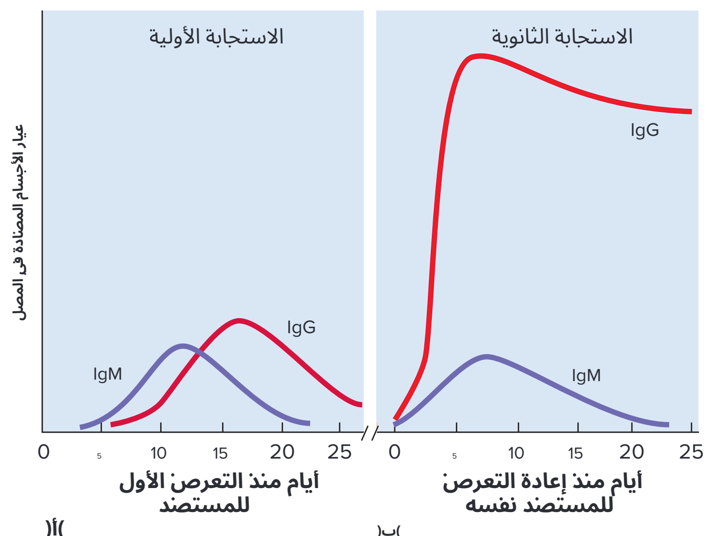
ما وظيفة هذه الشبكة الإندوبلازمية فى خلية البلازما؟

أ-ب: دون و. فوسيت/مصدر العلوم





الشكل 21.28 التجمع والترسيب بواسطة الأجسام المضادة.)أ(تجمع كريات الدم الحمراء الأجنبية بواسطة IgM، وهو خماسى.)ب(مركب مستضد-جسم مضاد مترسب يشمل مستضد جزيئى حر وجسم مضاد أحادى مثل IgG.



الشكل 21.29 الاستجابات الأولية والثانوية)الاستجابة التذكيرية(فى المناعة الخلطية.)أ(الاستجابة الأولية، التى تُرى عند التعرض الأول لمستضد معين.)ب(الاستجابة الثانوية، التى تُرى فى شخص منيع عند إعادة التعرض. يتعرض الفرد للمستضد فى اليوم 0 فى كلتا الحالتين. لاحظ الفروقات فى سرعة الاستجابة، وارتفاع عيار الأجسام المضادة، ومعدل انخفاض عيار الأجسام المضادة.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

23. ما الفرق بين الخلية البائية)B cell(والخلية البلازمية)plasma cell(؟
24. صف أربع طرق يعمل بها الجسم المضاد ضد المستضد)antigen).
25. لماذا يمنع الاستجابة المناعية الثانوية)secondary immune response(الم مرض من التسبب فى المرض، بينما لا تفعل الاستجابة المناعية الأولية)primary immune response(ذلك؟

الجدول 21.4 عوامل المناعة التكيفية

العوامل الخلوية	
خلايا ب	تعمل كخلايا مقدمة للمستضد فى المناعة الخلطية؛ تتحول إلى خلايا بلازمية تفرز الأجسام المضادة
خلايا CD4 (T4)*	خلايا T اللمفاوية ذات جليكوبروتينات سطحية CD4؛ خلايا T المساعدة والمنظمة
خلايا CD8 (T8)	خلايا T اللمفاوية ذات جليكوبروتينات سطحية CD8؛ خلايا T السامة
خلايا T السامة (خلايا القاتل T، T_C، أو CD8)	الفعّالة فى المناعة الخلوية؛ تهاجم وتدمر الخلايا المعادية مباشرةً؛ تنتج البيرفورين، الغرانزيمات، الإنترفيرون، عامل نخر الورم، وسيتوكينات أخرى
الخلايا التغصنية	خلايا مقدمة للمستصد متفرعة ومتحركة فى الجلد، الأغشية المخاطية، والأنسجة اللمفاوية؛ تبتلع المستضد، وتهاجر إلى العقد اللمفاوية، وتقدمه إلى خلايا T_H وT_C
اليوزينوفيلات*	تبتلع وتحلل مركبات المستضد-الأجسام المضادة
خلايا تى المساعدة (T_H)*	تلعب دورًا تنظيميًا مركزيًا فى المناعة الفطرية، والمناعة الخلطية، والمناعة الخلوية؛ تتعرف على شظايا المستضد المعروضة بوا سطة خلايا تقديم المستضد (APCs) مع بروتينات MHC-II؛ تفرز الإنترلوكينات التى تنشط خلايا B، وT_C، والخلايا القاتلة الطبيعية (NK)، والعدلات، والبلعميات
البلعميات الكبيرة*	تبتلع مسببات الأمراض والخلايا المضيفة التالفة أو المنتهية؛ تعمل كخلايا تقديم مستضد (APCs)
خلايا B الذاكرة	خلايا B المنسّطة التى لا تتحول فورًا إلى خلايا بلازما؛ تعمل كمخزون من خلايا B التى يمكنها تنفيذ استجابة ثانوية سريعة عند إعاد ة التعرض لنفس المستضد الذى نشطها فى البداية
خلايا T الذاكرة	خلايا T المنسّطة التى لا تتحول فورًا إلى خلايا T الفعالة؛ تعمل كمخزون من خلايا T التى يمكنها تنفيذ استجابة استدعاء سريعة لخلايا T عند إعادة التعرض لنفس المستضد الذى نشطها فى البداية
الخلايا اللمفاوية الساذجة	الخلايا اللمفاوية المتمكنة من المناعة القادرة على الاستجابة لمستضد لكنها لم تواجهه بعد
خلايا البلازما	تتطور من خلايا B التى تم تنشيطها بواسطة خلايا T المساعدة؛ تصنع وتفرز الأجسام المضادة
خلايا T التنظيمية (T_R) (تى-ريغز)	خلايا تى التى تمنع خلايا تى الأخرى من التكاثر أو إفراز السيتوكينات؛ مهمة بشكل خاص فى منع الأمراض المناعية الذاتية ولكن قد تلعب أيضًا أدوارًا دفاعية ضد العدوى والسرطان وتحمى الجنين من الاستجابات المناعية للأم
العوامل الكيميائية	
الأجسام المضادة (Ab)	جلوبيولين جاما يُنتج بواسطة خلايا البلازما استجابة لمستضد؛ يعاكس المستضد عن طريق تثبيت المتمم، تحييد السموم ، التكتل، أو الترسيب
المستضد (Ag)	جزىء قادر على تحفيز استجابة مناعية؛ عادة ما يكون بروتينًا، أو متعدد سكاريد، أو جليكوليبيد، أو جليكوبروتين
المتمم*	مجموعة من بروتينات البلازما التى تساعد فى تدمير مسببات الأمراض عن طريق التحلل الخلوى، البلعمة، إزالة المناعة، أو المناعة الفطرية (الالتهاب)
جرانزيم	إنزيم بروتينى ينتجه كل من خلايا القاتل الطبيعى (NK) وخلايا تى السامة (T_C)؛ يدخل من خلال الثقب الذى تصنعه البروفرينات، ويحلل إنزيمات الخلي ة العدوة، ويحفز الموت المبرمج (الاستماتة)
هابتن (مستضد غير كامل)	جزىء صغير غير قادر فى البداية على تحفيز استجابة مناعية بمفرده لكنه قادر على الارتباط بجزيئات المضيف وتكوين مركب م ستضدى؛ قد ينشط لاحقًا استجابة مناعية دون الارتباط بجزىء مضيف
إنترلوكين	السيتوكين الذى تنتجه الكريات البيضاء والبلعميات لتحفيز الكريات البيضاء الأخرى
بيرفورين	بروتين تنتجه خلايا NK وT_C يرتبط بالخلايا المستهدفة، ويحدث ثقبًا، ويسمح بدخول الجرانزيمات إلى الخلية
عامل نخر الورم (TNF)	سيتوكين تفرزه خلايا T_C ينشط البلعميات ويقتل الخلايا السرطانية

*لهذه العوامل أدوار إضافية فى الالتهاب موصوفة فى الجدول 21.1.

الجدول 21.5	بعض المقارنات بين المناعة الخلوية والمناعة الخلطية	
الخاصية	**المناعة الخلوية**	**المناعة الخلطية**
عوامل المرض	الفيروسات والبكتيريا والخمائر والطفيليات الأولية داخل الخلايا؛ الديدان الطفيلية؛ خلايا السرطان؛ الأنسجة والأعضاء المزروعة	الفيروسات والبكتيريا والخمائر والطفيليات الأولية خارج الخلايا؛ السموم، الأفاعي، والمسببات التحسسية؛ خلايا الدم الحمراء غير المتطابقة
خلايا المفعّل	خلايا T السامة	خلايا البلازما (تتطور من خلايا B)
خلايا أخرى مشاركة في الهجوم	خلايا T المساعدة	خلايا T المساعدة
خلايا عرض المستضد	خلايا B، البلعمات، الخلايا الشجرية، تقريبًا جميع الخلايا	خلايا ب
بروتينات MHC	مستضدات التوافق النسيجي الرئيسية-1 و مستضدات التوافق النسيجي الرئيسية-2	مستضدات التوافق النسيجي الرئيسية-2 فقط
العوامل الكيميائية للهجوم	البيرفورينات، الغرانزيمات، الإنترفيرونات، عامل نخر الورم	الأجسام المضادة، المكمل
آليات مكافحة أو تدمير مسببات الأمراض	تحلل الخلايا، البلعمة، الموت المبرمج للخلايا	تحلل الخلايا، البلعمة، إزالة المناعة، الالتهاب، التعادل، التكتل، الترسيب
الذاكرة	استجابة استدعاء الخلايا التائية	الاستجابة الثانوية (الاستجابة التذكرية)

فرط الحساسية لأن الاستجابة سريعة جدًا، في حين يُميز النوعان الثاني والثالث بأنهما *تحت الحاد* لأنهما يظهران بداية أبطأ (1–3 ساعات بعد التعرض) وتستمر لفترة أطول (10–15 ساعة).
النوع الرابع هو استجابة خلوية متأخرة، في حين أن الأنواع الثلاثة الأخرى هي استجابات أسرع بوساطة الأجسام المضادة.

- فرط الحساسية من النوع الأول (الحاد) يشمل أكثر أنواع الحساسية شيوعًا. يستخدم بعض الخبراء كلمة *حساسية* لوصف ردود الفعل من النوع الأول فقط، ويستخدمها آخرون لجميع الأنواع الأربعة. النوع الأول هو رد فعل بوساطة IgE يبدأ خلال ثوانٍ من التعرض وعادة ما يختفي خلال 30 دقيقة، على الرغم من أنه قد يكون شديدًا وحتى مميتًا. ترتبط مسببات الحساسية بـ IgE على أغشية الخلايا القاعدية وخلايا البدينة وتحفزها على إفراز الهيستامين ومواد أخرى التهابية وفعالة على الأوعية. تؤدي هذه المواد إلى تحفيز إفراز الغدد، توسع الأوعية، زيادة نفاذية الشعيرات الدموية، تشنجات العضلات الملساء، وتأثيرات أخرى. تشمل العلامات السريرية الوذمة الموضعية، الاحتقان بالمخاط، الدموع المائية، سيلان الأنف، الشرى (جلد أحمر وحاك)، وأحيانًا التشنجات، الإسهال، والقيء. من أمثلة فرط الحساسية من النوع الأول الربو، الصدمة التأقية، وحساسيات الطعام.
الربو[25] هو أكثر الأمراض المزمنة شيوعًا بين الأطفال. في الولايات المتحدة، يودي بحياة حوالي 3600 شخص سنويًا. أكثر أشكاله شيوعًا هو الربو التحسسي (الخارجي)، أزمة تنفسية يسببها مسببات الحساسية في اللقاح، العفن، وبر الحيوانات، الطعام، عث الغبار، أو الصراصير. تحفز مسببات الحساسية خلايا البلازما على إفراز IgE، الذي يرتبط بخلايا البدينة في مخاط الجهاز التنفسي. يؤدي التعرض المتكرر لمسبب الحساسية إلى تحفيز خلايا البدينة على إطلاق مواد التهابية تسبب التهابًا شديدًا في الممرات الهوائية، تضيق القصيبات (*تشنج القصيبات*)، فرط إفراز المخاط، ضيق تنفس حاد، وأحيانًا اختناق. الأشخاص الذين يموتون بسبب ذلك عادة ما تكون ممرات هوائهم مسدودة بمخاط هلامي بحيث لا يستطيعون الزفير.
الناجون غالبًا ما يعانون من تلف طويل الأمد في الرئة. *الربو غير التحسسي*

21.6 اضطرابات الجهاز المناعي

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. تمييز بين الفئات الأربع للحساسية المفرطة المناعية وإعطاء مثال لكل منها؛
ب. شرح سبب حدوث التأق وتمييز التأق الموضعي عن صدمة التأق؛
ج. ذكر بعض الأسباب التي قد تؤدي إلى فشل التسامح الذاتي المناعي، وإعطاء أمثلة على الأمراض الناتجة؛ و
د. وصف علم أمراض أمراض نقص المناعة، وخاصة الإيدز.

نظرًا لأن الجهاز المناعي ينطوي على تفاعلات خلوية معقدة تتحكم فيه العديد من الرسل الكيميائية، فهناك العديد من النقاط التي قد تحدث فيها أخطاء. قد تكون الاستجابة المناعية مفرطة النشاط، أو ضعيفة جدًا، أو موجهة بشكل خاطئ ضد أهداف غير صحيحة. فيما يلي ملخص لبعض الاضطرابات لتوضيح العواقب.

21.6أ فرط الحساسية

فرط الحساسية هو رد فعل مناعي مفرط وضار تجاه المستضدات. ويشمل ردود الفعل تجاه الأنسجة المزروعة من شخص آخر (المناعة المشتركة)، وردود الفعل غير الطبيعية تجاه أنسجة الجسم نفسه (المناعة الذاتية)، والحساسية، وهي ردود فعل تجاه المستضدات البيئية.[24] وتسمى هذه المستضدات مسببات الحساسية، وتوجد في العفن، الغبار، اللقاح، اللقاحات، سموم النحل والدبابير، وبر الحيوانات، والسموم من اللبلاب السام ونباتات أخرى، والأطعمة مثل المكسرات، الحليب، البيض، والمحاريات. بعض الأشخاص لديهم حساسية تجاه أدوية مثل البنسلين، التتراسيكلين، والإنسولين.
يعترف نظام تصنيف واحد بأربعة أنواع من فرط الحساسية تميزه أنواع العوامل المناعية (الأجسام المضادة أو الخلايا التائية) المشاركة وطرقها في مهاجمة المستضد.
في هذا النظام، يُميز النوع الأول أيضًا بأنه حاد (فوري)

[25] *asthma* = اللهاث

[24] *allo* = معدل؛ *erg* = فعل، رد فعل

21.6ب أمراض المناعة الذاتية

أمراض المناعة الذاتية هى فشل فى التسامح الذاتى—يفشل الجهاز ا لمناعى فى التمييز بين المستضدات الذاتية والمستضدات الأجنبية و ينتج أجسامًا مضادة ذاتية تهاجم أنسجة الجسم نفسه. عادةً ما يُمنع ا لمناعة الذاتية عن طريق الانتقاء السلبى لخلايا T و B النامية، لكن هنا ك على الأقل ثلاثة أسباب لفشل التسامح الذاتى:

1. التفاعل المتقاطع. بعض الأجسام المضادة ضد المستضدا ت الأجنبية تتفاعل مع مستضدات ذاتية مشابهة. فى الحمى الروماتيزمية، على سبيل المثال، يحفز عدوى المكورات العق دية إنتاج أجسام مضادة تتفاعل ليس فقط ضد البكتيريا ول كن أيضًا ضد مستضدات نسيج القلب. غالبًا ما يؤدى ذلك إل ى تندب وتضيق)تضييق(صمامات الميترال والأبهر.

٢.التعرض غير الطبيعى لمستضدات الذات فى الدم. بعض المستضدات الذاتية لدينا عادة لا تتعرض للدم. على سبيل المثال، حاجز الدم–الخصية)BTB(يعزل خلايا ا لحيوانات المنوية عن الدم بشكل طبيعى.
انهيار حاجز الدم–الخصية يمكن أن يسبب العقم عندما تتكون الحيوانا ت المنوية لأول مرة فى سن المراهقة ويؤدى إلى تنشيط إنتاج الأجسام المضادة الذاتية.

3. تغيير فى بنية المستضدات الذاتية. قد تغير الفيروسات والأ دوية بنية المستضدات الذاتية وتتسبب فى أن يتعرف عليها ال جهاز المناعى كأجسام غريبة. إحدى نظريات داء السكرى م ن النوع الأول هى أن عدوى فيروسية تغير مستضدات خلايا بى تا المنتجة للإنسولين فى جزر البنكرياس، مما يؤدى إلى هجوم مناعى ذاتى على هذه الخلايا.

تظهر الأدلة أن ليس كل خلايا T ذاتية التفاعل يتم القضاء عليها عن طريق الحذف الكلونى فى الغدة الزعترية. يبدو أننا جميعًا نمتلك على الأ قل بعض خلايا T المستعدة لمهاجمة أنسجتنا الذاتية، لكن خلايا T التنظ يمية)RT(تتحكم بها وتمنع عادةً الأمراض المناعية الذاتية.

21.6ج أمراض نقص المناعة

فى الأمراض السابقة، يتفاعل الجهاز المناعى بشكل مفرط أو يوجه ه جومه ضد أهداف خاطئة. أما فى أمراض نقص المناعة، فإن الجهاز ال مناعى يفشل فى الاستجابة بشكل كافٍ.

مرض نقص المناعة المشترك الحاد

مرض نقص المناعة المشترك الحاد)SCID(هو مجموعة من الاضطرا بات التى تسببها أليلات متنحية تؤدى إلى ندرة أو غياب خلايا T وB م عًا. الأطفال المصابون بـ SCID معرضون بشدة للعدوى الانتهازية ويج ب أن يعيشوا فى بيئات محمية. أشهر حالة كانت ديفيد فيتر، الذى ق ضى حياته فى غرف وأزياء بلاستيكية معقمة)الشكل 21.30(، *واس تسلم أخيرًا فى عمر 12 عامًا لسرطان نجم عن عدوى فيروسية. أحيانًا يُساعد الأطفال المصابون بـ SCID بزراعة نخاع العظم أو الغدة الزعتر ية الجنينية، لكن فى بعض الحالات تفشل الخلايا المزروعة فى البقاء والتكاثر، أو تهاجم خلايا T المزروعة أنسجة المريض)استجابة الطعم م قابل المضيف(.* أصيب ديفيد بالفيروس القاتل من أخته عبر زراعة نخ اع العظم.

الربو)الداخلى(لا يسببه مسببات الحساسية ولكنه يمكن أن يُثار بواسطة العدوى، الأدوية، ملوثات الهواء، الهواء البارد الجاف، ال تمارين الرياضية، أو العواطف. يُستخدم فى إدارة الأزمات الر بوية الطارئة موسعات الشعب الهوائية مثل ألبوتيرول لتوسي ع مجرى الهواء واستعادة التنفس.
التأق[26])AN-uh-fih-LAC-sis(هو أيضًا رد فعل من ا لنوع الأول فورى وشديد. يمكن تخفيف التأق الموضعى با ستخدام مضادات الهيستامين. الصدمة التأقية هى فرط ح ساسية حاد وشامل يحدث عندما يدخل مستضد مثل سم النح ل أو البنسلين إلى مجرى دم شخص حساس، أو عندما يبتلع ال شخص أطعمة معينة)مثل الفول السودانى(التى يعانى من ح ساسية تجاهها. يتميز بتضيق الشعب الهوائية، ضيق التنفس) التنفس المتعب(، توسع الأوعية الدموية الواسع، صدمة دموية، وأحيانًا الموت المفاجئ. مضادات الهيستامين غير كافية بمفردها لمواجهة الصدمة التأقية، لكن الإبينفرين يخفف ا لأعراض عن طريق توسيع القصيبات، زيادة النتاج القلبى، واس تعادة ضغط الدم. قد تكون هناك حاجة أحيانًا للعلاج بالسوائل والدعم التنفسى.

- فرط الحساسية من النوع الثانى)المعتمد على الأجسام المضادة(يحدث عندما يهاجم IgG أو IgM المستضدات المرتبطة بأسطح الخلايا. يؤدى هذا التفاعل إلى تنشيط المكمل إما لتحل ل الخلية أو لتغطيتها بالأوبسونين. تقوم البلاعم بابتلاع وتدمير ا لصفائح الدموية، كريات الدم الحمراء، أو خلايا أخرى المغطاة با لأوبسونين. من أمثلة تدمير الخلايا بواسطة ردود الفعل من النوع الثانى ردود فعل نقل الدم وبعض ردود فعل الأدوية. فى بع ض ردود الفعل من النوع الثانى الأخرى، يرتبط جسم مضاد بمستقبلات سطح الخلية ويعطل وظيفتها كما فى الوهن الع ضلى الوبيل، أو يحفز الخلية بشكل مفرط كما فى الدراق السمى.)انظر الجدول 21.6 لمزيد من المعلومات عن هذه الأمراض.(

- فرط الحساسية من النوع الثالث)مركب مناعى(يحدث عند ما يشكل IgG أو IgM مركبات مستضد-جسم مضاد تترسب تحت بطانة الأوعية الدموية أو فى أنسجة أخرى. فى مواقع التر سيب، تنشط هذه المركبات المكمل وتثير التهابًا شديدًا يسب ب تدمير الأنسجة. من أمثلة فرط الحساسية من النوع الثالث أمراض المناعة الذاتية مثل التهاب كبيبات الكلى الحاد والذئبة الحمامية الجهازية، وهو التهاب واسع النطاق لأنسجة الصام ة)انظر الجدول 21.6(.

- فرط الحساسية من النوع الرابع)المتأخر(هو رد فعل خلوى تظهر علاماته بعد حوالى 12 إلى 72 ساعة من التعرض. يبدأ عندم ا تعرض الخلايا المقدمة للمستضدات)APCs(فى العقد اللم فاوية المستضدات على خلايا T المساعدة، وتفرز هذه الخلا يا الإنترفيرون وسيتوكينات أخرى تنشط خلايا T السامة وا لبلاعم. النتيجة مزيج من الاستجابات غير النوعية والمناعية. تشمل ردود الفعل من النوع الرابع الحساسية تجاه الهابتينا ت فى مستحضرات التجميل والسُمرة السامة؛ رفض الطُعم؛ ا ختبار السل الجلدى؛ وتدمير خلايا بيتا الذى يسبب داء السكر ى من النوع الأول.

[26] *ana*= ضد؛ *phylax*= الوقاية

فيروس نقص المناعة البشرية)الشكل 21.31(يحتوى على نواة داخلية تتكون من غلاف بروتينى كابسيد يحيط بجزيئين من RNA، و جزيئين من إنزيم يسمى *النسخ العكسى*، وعدد قليل من جزيئات إنز يم أخرى. الغلاف محاط بطبقة أخرى من بروتين الفيروس، وهى *الم صفوفة*. وخارج ذلك يوجد *غلاف فيروسى* يتكون من الفسفوليبيدا ت والجليكوبروتينات المستمدة من خلية المضيف.

مثل الفيروسات الأخرى، لا يمكن لفيروس نقص المناعة البشرية الت كاثر إلا داخل خلية مضيفة حية. يغزو خلايا T المساعدة)CD4(، والخلا يا التغصنية، والبلعميات. يلتصق فيروس نقص المناعة البشرية بالخ لية المستهدفة عن طريق أحد جليكوبروتينات الغلاف الخاصة به ويُخد ع الخلية المستهدفة لابتلاعه عبر الالتقام الخلوى الوسيط بالمستقبلا ت. داخل الخلية المضيفة، يستخدم النسخ العكسى RNA الفيروسى كقالب لتخليق DNA — وهو عكس العملية المعتادة للنسخ الجينى. ا لفيروسات التى تقوم بهذه العملية من RNA إلى DNA تسمى الفيرو سات الارتجاعية.[27] يتم إدخال DNA الجديد فى DNA الخلية المضى فة، حيث قد يبقى خاملاً لعدة أشهر إلى سنوات. وعندما ينشط، يحفز الخلية المضيفة على إنتاج RNA فيروسى جديد، وبروتينات الكابسيد، وبروتينات المصفوفة.

عندما تخرج الفيروسات الجديدة من الخلية المضيفة)الشكل 21.31 ب(، تُغطى بأجزاء من غشاء البلازما الخاص بالخلية، مكونة الغلاف ال فيروسى الجديد. ثم تلتصق الفيروسات الجديدة بالمزيد من خلايا الم ضيف وتكرر العملية.

من خلال تدمير خلايا H^T يهاجم فيروس نقص المناعة البشرية عامل تنسيق مركزى للمناعة الفطرية، والمناعة الخلطية، والمناعة الخلوية؛ يوض ح الشكل 21.23 مدى أهمية خلايا HTلجميع أشكال المناعة الثلاثة.

بعد فترة حضانة تتراوح من بضعة أشهر إلى 12 سنة، يبدأ الشخص ا لمصاب فى تجربة نوبات تشبه الإنفلونزا مع قشعريرة وحمى مع مهاج مة فيروس نقص المناعة البشرية لخلايا HT فى البداية، تُنتج أجسام م ضادة ضد فيروس نقص المناعة البشرية ويعود عدد خلايا HTإلى و ضعه الطبيعى تقريبًا. ومع تدمير الفيروس للمزيد من الخلايا، تصبح ا لعلامات والأعراض أكثر وضوحًا: التعرق الليلى، التعب، الصداع، فقدا ن الوزن الشديد، والتهاب العقد اللمفاوية.

[27] *retr* = اختصار للنسخ العكسى

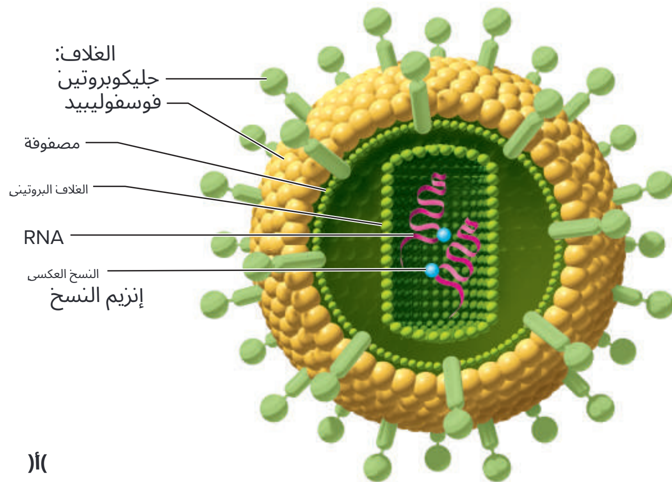


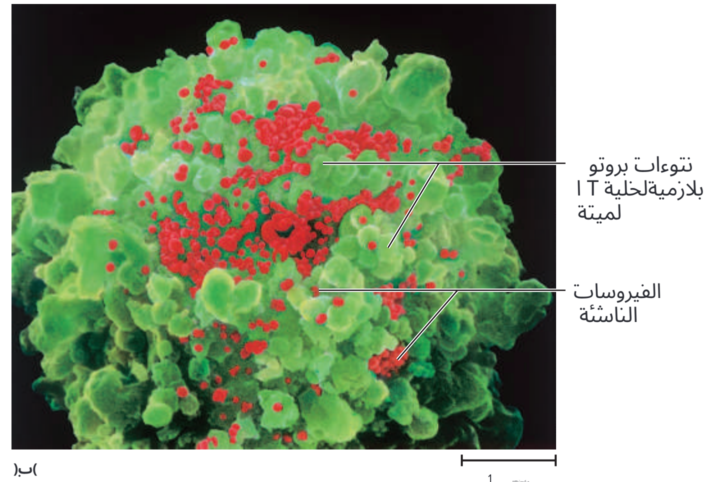
الشكل 21.30 صبى مصاب بمرض نقص المناعة الشديد المشترك. عاش ديفيد فيتر مع SCID منذ الولادة)1971(حتى عمر 12 عامًا واضطر إلى ق ضاء حياته كلها فى حاويات معقمة.

مستشفى تكساس للأطفال

متلازمة نقص المناعة المكتسبة

الأمراض الأخرى لنقص المناعة ليست وراثية وتُكتسب بعد الولادة. ا لمثال الأكثر شهرة هو متلازمة نقص المناعة المكتسبة)الإيدز(، وهى مجموعة من الحالات التى يؤدى فيها فيروس نقص المناعة البشرية (HIV) إلى كبت شديد للاستجابة المناعية.





الشكل 21.31 فيروس نقص المناعة البشرية)HIV(.)أ(بنية الفيروس.)ب(فيروسات تخرج من خلية T مساعدة ميتة. يمكن لكل فيروس الآن غزو خلية T مساعدة جديدة وإنتاج عدد مماثل من النسخ.

ب: NIBSC/SPL/Science Source

لا يُعرف أن الإيدز ينتقل عن طريق الاتصال العادى — على سبيل المثال، لأفراد العائلة، الأصدقاء، الزملاء فى العمل، زملاء الدراسة، أو العاملين الطبيين المسؤولين عن مرضى الإيدز. لا ينتقل عن طريق ال تقبيل أو من خلال البعوض أو غيره من المفصليات التى تمتص الدم.

يبقى فيروس HIV ضعيفًا خارج جسم الإنسان. يتم تدميره بالغسيل؛ غسل الصحون؛ التعرض للحرارة)50 درجة مئوية]135 فهرنهايت[لمدة 1 0 دقائق على الأقل(؛ كلورة حمامات السباحة والجاكوزى؛ والمعقمات مثل المبيض، ليسول، بيروكسيد الهيدروجين، الكحول المطبق، ومنظفات الح لد الميكروبية. الواقى الذكرى المصنوع من اللاتكس المستخدم بشكل صح يح وسليم هو حاجز فعال ضد فيروس HIV، لكن الواقيات المصنوعة من غشاء الحيوانات تحتوى على فتحات كبيرة جدًا لا تمنع انتقال فيروس HIV.

أدى وباء الإيدز إلى جهد غير مسبوق للعثور على لقاح أو علاج. فير وس HIV هو مسبب مرض صعب المواجهة. نظرًا لأنه يختبئ داخل خلايا المضيف، فإنه عادة ما يهرب من التعرف عليه من قبل الجهاز ا لمناعى. فى الدماغ، يحميه الحاجز الدموى الدماغى. تتحور حوالى 1% من جينات فيروس HIV كل عام. هذه الطفرة السريعة تشكل حاجزًا أم ام المناعة الطبيعية وتطوير اللقاح. حتى عندما تصبح خلايا المناعة ح ساسة لفيروس HIV، يتطور الفيروس بسرعة ليظهر مستضدات سط حية جديدة تهرب من التعرف عليها. معدل الطفرة العالى يجعل اللقاح الحالى غير فعال بسرعة ضد سلالة الفيروس المستقبلية.

لا يوجد علاج للإيدز حتى الآن، ولكن لأولئك الذين يمكنهم الوصول إلى العلاج المضاد للفيروسات الرجعية)ART(، فإن متوسط العمر المتوقع عند التشخيص يقترب الآن من الأشخاص غير المصابين. لقد أنقذ العلاج المضاد للفيروسات الرج عية حياة ملايين المرضى، لكنه يتطلب علاجًا دوائيًا مدى الحياة ونظامًا معقدًا. الا لتزام بالعلاج صعب لبعض الأشخاص، خاصة المشردين، متعاطى المخدرات، الأ شخاص الذين يعانون من سوء التغذية، والأشخاص غير القادرين على دفع تكاليف العلاج.

لقد استعرضنا الفئات الرئيسية لاضطرابات الجهاز المناعى وبع ض الأمراض المناعية الشهيرة. يتم وصف بعض اضطرابات الجهاز ا للمفاوى والمناعى الإضافية فى الجدول 21.6، وجائحة COVID-19 ا لأخيرة فى التعمق 21.4. يتم وصف تأثيرات الشيخوخة على الجهاز ال مناعى فى الفصل 29.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

26. كيف يختلف فرط الحساسية تحت الحاد عن فرط الحساسية الحاد؟ أعطِ مثالاً لكل منهما.

27. بصرف النظر عن الوقت اللازم لظهور التفاعل، كيف يختلف فرط الحساسية المتأخر عن الأنواع الحادة وتحت الحادة؟

28. اذكر بعض الأسباب التى قد تجعل الأجسام المضادة تبدأ بمهاجمة المستضدات الذاتية التى لم تستجب لها سابقًا. ما اسم هذ ه الأجسام المضادة ذاتية التفاعل؟

29. ما الفرق بين الشخص المصاب بعدوى فيروس نقص المناعة البشر ية)HIV(والشخص المصاب بمرض الإيدز)AIDS(؟

30. كيف يبطئ مثبط النسخ العكسى مثل AZT تقدم مرض الإيدز؟



الشكل 21.32 سرطان كابوزى. آفات جلدية نموذجية.
المعهد الوطنى للسرطان)NCI(

العدد الطبيعى لخلايا HTيتراوح بين 600 إلى 1200 خلية/ميكرو لتر، ولكن أحد معايير الإيدز هو عدد أقل من 200/ميكرولتر. يمكن أن يكون الشخص إيجابيًا لفيروس HIV لمدة 10 سنوات أو أكثر دون أن يصاب بالإيدز. ومع ذلك، عندما تنخفض خلايا HTبشكل حاد، يصبح ا لشخص عرضة للإصابات الانتهازية مع مسببات الأمراض مثل *Toxop lasma*)طفيلى معروف سابقًا بأنه يسبب تشوهات خلقية(، *Pneumoc ystis*)مجموعة من الفطريات التنفسية(، فيروس الهربس البسيط، فيروس السيتوميجالو)الذى يمكن أن يسبب العمى(، وبكتيريا السل. قد تظهر بقع بيضاء فى الفم، تسببها *Candida*)القلاع(أو فيروس Epstein-B arr[28])اللوكوبلاكية(. سرطان يسمى ساركوما كابوزى[29]، نادر فى عامة السكان ولكنه شائع بين المصابين بالإيدز، ينشأ فى خلايا البطانة للأوعية الدمو ية ويسبب آفات أرجوانية تشبه الكدمات تظهر على الجلد والفم والجه از التنفسى وأماكن أخرى)الشكل 21.32(.

الأشخاص المصابون بالإيدز لا يظهرون استجابة لاختبارات الجلد القياسية للحساسية المتأخرة. قد تحدث صعوبة فى الكلام، فقدان الو ظائف الحركية والمعرفية، والخرف عندما يغزو فيروس HIV الدماغ ع بر البلعميات المصابة)الميكروغليا(ويحفزها على إفراز سموم تدمر ال خلايا العصبية والخلايا النجمية.

ينتقل فيروس HIV عبر الدم، السائل المنوى، الإفرازات المهبلية، وحليب الثدى. يمكن أن ينتقل من الأم إلى الجنين عبر المشيمة أو م ن الأم إلى الطفل أثناء الولادة أو الرضاعة. يوجد فيروس HIV فى اللعا ب والدموع، لكنه على ما يبدو لا ينتقل عبر هذه السوائل. أكثر وسائل ا لانتقال شيوعًا هى الجماع الجنسى)المهبلى، الشرجى، أو الفموى(، م نتجات الدم الملوثة، وحقن المخدرات بالإبر الملوثة. على مستوى العا لم، يتم اكتساب حوالى 75% من عدوى HIV من خلال الجماع الجنس ى المغاير، وبشكل رئيسى الجماع المهبلى. فى الولايات المتحدة، تحد ث معظم الحالات لدى الرجال الذين يمارسون الجنس مع رجال آخري ن. تبقى مشاركة الإبر فى تعاطى المخدرات الوسيلة الرئيسية للانتقال فى الأحياء الحضرية الفقيرة. منذ عام 1984، يتم فحص جميع الدم ا لمتبرع به للحقن بحثًا عن فيروس HIV، وأصبح خطر العدوى من عمل يات نقل الدم أقل من 1%. لا يمكن الإصابة بفيروس HIV من خلال ا لتبرع بالدم.

[٨٢] م. أ. إبستين)١٢٩١–(، طبيب بريطانى؛ ى. م. بار)١٣٩١–٢٠١٦(، عالم فيروسات بريطانى
[٩٢] موريتز كابوسى)٧٣٨١–٢٠٩١(، طبيب نمساوى

الجدول 21.6	بعض اضطرابات الجهاز اللمفاوى وجهاز المناعة
التهاب الجلد التماسى	شكل من أشكال فرط الحساسية المتأخرة التى تُنتج آفات جلدية محدودة فى موقع التماس مع مادة مسببة للحساسية أو هابتن؛ تشمل الاستجابات تجاه اللبلاب السام، مستحضرات التجميل، اللاتكس، المنظفات، المواد الكيميائية الصناعية، وبعض الأدوية الموضعية.
الشرى)الأرتيكاريا٣٠(	رد فعل جلدى تحسسى يتميز برد فعل "تورم واحمرار" — بثور بيضاء)تورمات(محاطة بمناطق محمرة)احمرار(، عادةً مع حكة. ناتج عن إطلاق الهيستامين المحلى استجابةً لمسببات الحساسية. يمكن أن يُثار بواسطة الطعام أو الأدوية، ولكن أحيانًا بواسطة عوامل غير مناعية مثل البرد، الاحتكاك، أو التوتر العاطفى.
مرض هودجكين١٣	سرطان العقدة اللمفاوية، مع أعراض مبكرة تشمل تضخم العقد المؤلمة، خاصة فى الرقبة، والحمى؛ غالبًا ما ينتشر إلى العقد اللمفاوية المجاورة. العلاج بالإشعاع والعلاج الكيميائى يشفى حوالى ٧٥٪ من المرضى.
تضخم الطحال[32]	تضخم الطحال، أحيانًا بدون مرض أساسى ولكنه غالبًا ما يشير إلى العدوى، أمراض المناعة الذاتية، فشل القلب، تليف الكبد، مرض هودجكين، وأنواع أخرى من السرطان. قد يقوم الطحال المتضخم بـ "احتجاز" كريات الدم الحمراء، مما يسبب فقر الدم، وقد يصبح هشًا وعرضة للتمزق.
الذئبة الحمامية الجهازية 33	تكوين أجسام مضادة ذاتية ضد الحمض النووى وأنوية أخرى، مما يؤدى إلى تراكم مركبات المستضد-الأجسام المضادة فى الأوعية الدموية وأعضاء أخرى، حيث تحفز التهابًا واسع النطاق فى النسيج الضام. سُميت بهذا الاسم بسبب الآفات الجلدية التى كانت تشبه لدغة الذئب. تسبب الحمى، التعب، ألم المفاصل، فقدان الوزن، عدم تحمل الضوء الساطع، وطفح جلدى على شكل "فراشة" عبر الأنف والخدين. قد يؤدى المرض إلى الوفاة بسبب فشل كلوى.
يمكنك العثور على اضطرابات أخرى فى الجهاز اللمفاوى والمناعى موصوفة فى الأماكن التالية:	
التهاب المفاصل الروماتويدى فى التعمق 9.5؛ الوهن العضلى الوبيل فى التعمق 11.4؛ الدراق السمى فى القسم 17.7أ؛ داء السكرى من النوع 1 فى القسم 17.7هـ؛ الحمى الروماتيزمية فى التعمق 19.3؛ الوذمة فى القسم 20.3د؛ التهاب العقد اللمفاوية فى القسم 21.1د؛ الحساسية، الربو، التأق، مرض نقص المناعة الشديد المشترك)SCID(، ومتلازمة نقص المناعة المكتسبة)AIDS(فى القسم 21.6؛ كوفيد-19 فى التعمق 21.4؛ والتهاب كبيبات الكلى الحاد فى الجدول 23.3.	

[30] *urtica* = القراص

[31] توماس هودجكين)1798–1866(، طبيب بريطانى

[32] *megaly*= تضخم

[33] *lupus* = ذئب؛ *erythema* = احمرار



نظرة أعمق 21.4

تطبيق سريرى

كوفيد-19: مرض فرط الالتهاب

على مدار 2020-2021، هز العالم بشدة أسوأ جائحة عالمية خلال مئة عام — كوفيد-19)مرض فيروس كورونا 2019(. ظهر لأول مرة فى ووهان، الصين، فى ديسمبر 2019، وانتشر بسرعة فى جميع أنحاء العالم ووصل إلى الولايات المتحدة، حيث تم الإبلاغ عن أول وفاة فى فبراير 2020. من ذلك الحين وحتى نهاية 2021، وصل كوفيد-19 إلى مستوى جائحة متعددة الجنسيات، متسببًا فى أكثر من 5.4 مليون وفاة حول العالم مع تأثيرات كارثية على الاقتصاد العالمى وأنظمة الرعاية الصحية. فى الولايات المتحدة، أودى كوفيد-19 بحياة أكثر من مليون شخص بحلول مايو 2022 — أكثر من شخص واحد من كل 350، وأكثر من إجمالى الخسائر فى جميع الحروب مجتمعة منذ الحرب الأهلية فى ستينيات القرن التاسع عشر. ويرجع ذلك إلى حد كبير إلى سياسات مناهضة التطعيم، وحملات الإنكار والمعلومات المضللة، وسوء إدارة الحكومة، حيث سجلت ثانى أعلى معدل وفيات فى العالم، بعد الهند فقط. ومع ذهاب هذا الكتاب إلى الطباعة، استمر الفيروس فى هجومه بلا توقف ومع متغيرات جينية جديدة)طفرات(حتى عام 2022.

الفيروس وانتقاله

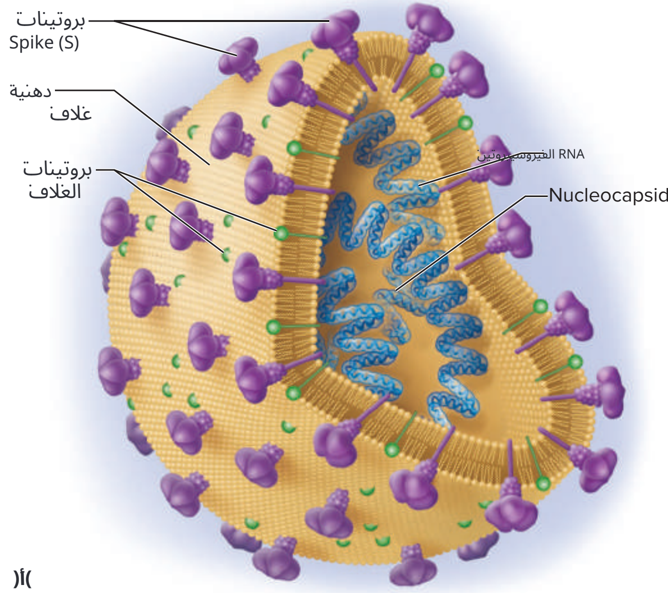
سبب مرض كوفيد-19 هو فيروس كبير من عائلة فيروس كورونا ، مرتبط بفيروسات تسبب نزلات البرد الشائعة والمعروفة مسبقًا بأنها تسبب أوبئة سابقة من متلازمة الجهاز التنفسى الحادة الوخيمة)سارس(. من سارس و فيروس كورونا ، تم تسمية هذا الفيروس الجديد **SARS-CoV-2.** يتكون الفيروس من غلاف دهنى خارجى *envelope* يحيط بخيط واحد من RNA يحتوى على 14 جينًا. يتم تثبيت RNA بواسطة بروتين nucleocapsid (N) المرتبط بـ RNA. الغلاف مزود ببروتينات spike بارزة بروتينات)S( )الشكل 21.33أ(. المطهر الإشعاعى الشبيه بالتاج لبروتينات السنبلة هو أساس اسم فيروس كورونا.[34] بروتينات S هى المفتاح لالتصاق الفيروس وغزو خلايا الإنسان، ويلعب بروتين N دورًا فى تكاثر الفيروس.

ينتقل فيروس SARS-CoV-2 من شخص لآخر عبر جزيئات محمولة جوًا مثل قطرات الرطوبة الناتجة عن سعال أو عطس الشخص المصاب، وحتى من خلال التحدث أو الغناء بالقرب من بعضهم البعض. إنه فيروس هش، لكنه يبقى على قيد الحياة لبضع ساعات إلى أيام حتى على الأسطح غير الحية)fomites(— الأسطح القادرة على نقل أمراض أخرى، مثل الملابس والمناشف والأدوات والمال والطرود. يتم تدميره بسهولة بواسطة الصابون ومعقمات اليدين، وينخفض انتقاله بشكل كبير باستخدام الأقنعة التى تمنع قطرات الرطوبة، وبحفاظ الناس على مسافة معقولة بينهم.

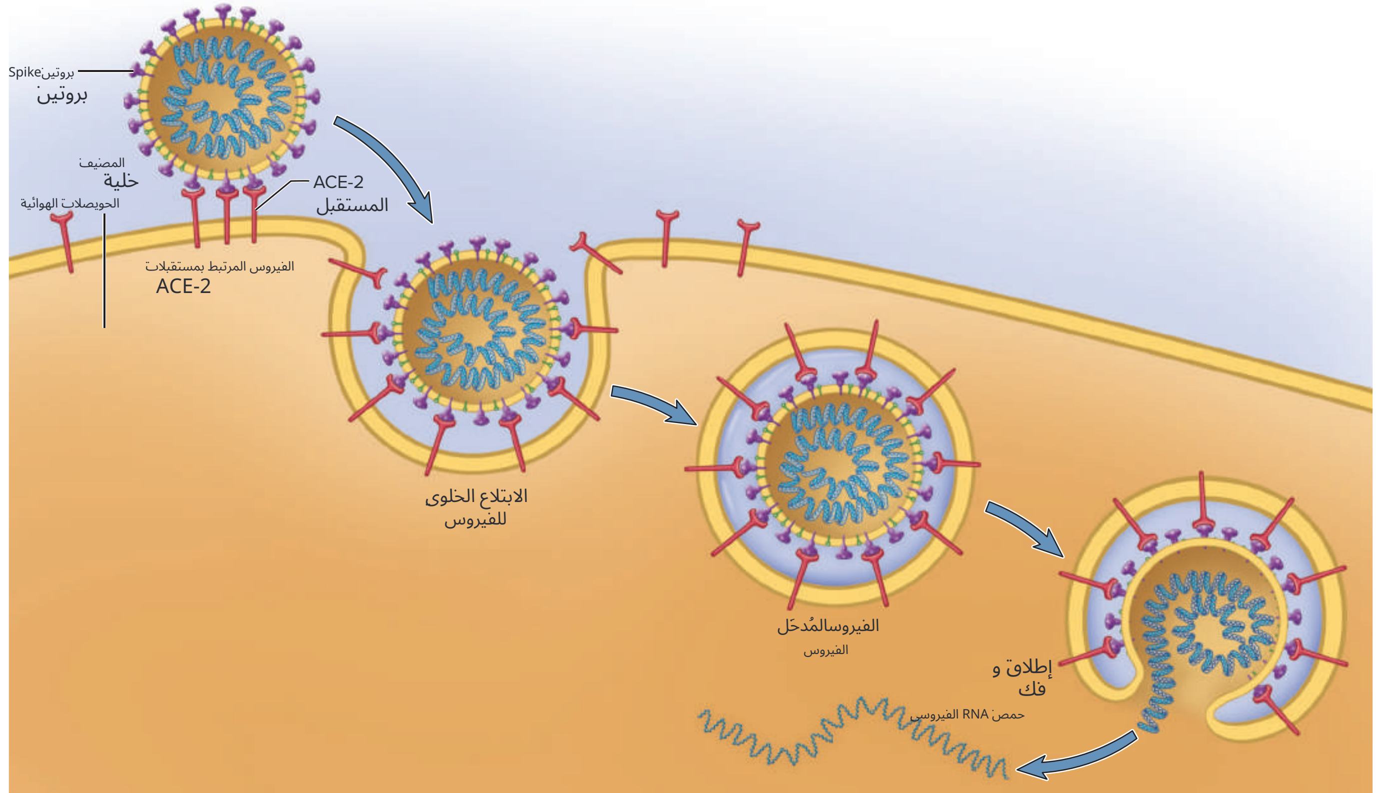
دورة عدوى SARS-CoV-2

عند استنشاقه، يغزو الفيروس خلايا الرئة المسماة الخلايا السنخية العظمى)النوع الثانى( )انظر الفصل 22(. أسطح هذه الخلايا غنية بمستقبلات لهرمون ينظم ضغط الدم يسمى إنزيم تحويل الأنجيوتنسين 2)ACE2(. عندما ترتبط بروتينات السنبلة للفيروس بمستقبلات ACE2، تندمج غلاف الفيروس مع غشاء الخلية السنخية، ويطلق الفيروس RNA وبروتين N داخل الخلية المستهدفة، أو قد يتم ابتلاع الفيروس بالكامل عن طريق الالتقام الخلوى)الشكل 21.33ب(.

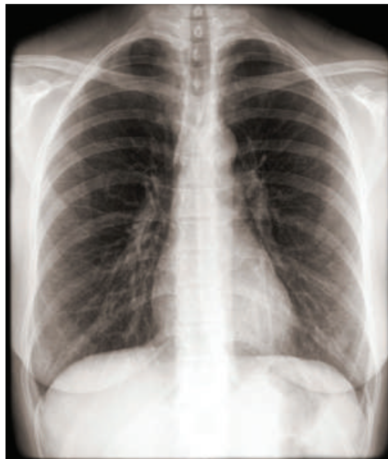
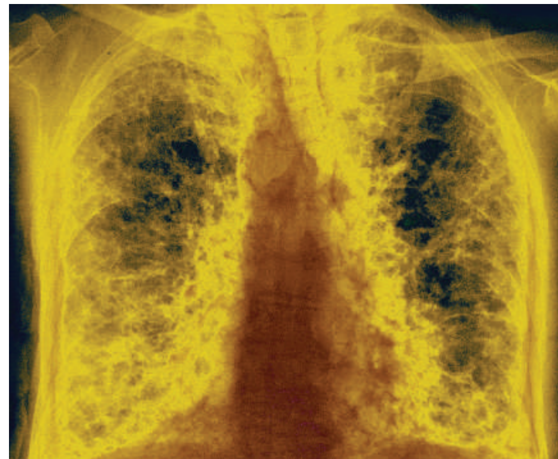
[34] كورونا = تاج



(أ)



(ب)

(ج)

الشكل 21.33 كوفيد-19 والفيروس المسبب. (أ) هيكل فيروس SARS-CoV-2. (ب) ارتباط الفيروس بمستقبلات ACE-2 على خلية المضيف وطريقة غزو الخلية عبر الالتقام الخلوي المُوجه بالمستقبل. (ج) أشعة إكس للرئتين السليمتين (يسار) مقارنة بالرئتين المصابتين بشدة تليف كوفيد-19. تلوين الأشعة السينية صناعي ولا يتعلق بالمرض.

BSIP SA/Alamy Stock Photo c-right: ;x/Shutterstock سكايهوك c-left:

يزداد مع التقدم فى العمر؛ بين المصابين حتى سن 25، يكون حوالى 0.01%، لكن
للأشخاص الذين تبلغ أعمارهم 85 سنة فأكثر، تصل النسبة إلى 15%. كما أن الو
فاة تؤثر بشكل غير متناسب على الأشخاص الذين يعانون من ضعف المناعة أو ا
لذين تقل مقاومتهم بسبب أسباب مثل أمراض الرئة المزمنة، السمنة، داء السكر
ى، واضطرابات المناعة.

التطعيم

التطعيم هو الوسيلة الأكثر فعالية لوقف انتشار كوفيد-19، تمامًا كما كان الحال فـ
ى الأوبئة السابقة لأمراض مثل الجدرى وشلل الأطفال. فى الولايات المتحدة فى
نهاية عام 2021، كان كوفيد-19 لا يزال يسبب عددًا كبيرًا من الوفيات، ومع ذلك
كان 98% إلى 99% من الذين يموتون بسببه من غير المطعمين، وهم أشخاص غا
لبًا ما رفضوا اللقاح حتى عندما كان متاحًا.

هناك نصف دزينة من استراتيجيات اللقاح لكوفيد، لكن أسرع نوعين تمت الم
وافقة عليهما للاستخدام العام كانا نوعًا مبتكرًا يسمى لقاحات RNA. كانت لقاحا
ت RNA قيد البحث والتطوير لأكثر من 30 عامًا قبل كوفيد-19، لكن هذه الجائحة
سرّعت من تطويرها وكانت المرة الأولى التى تمت الموافقة عليها للاستخدام الطا
رئ العام. لقاحات RNA لا تدخل الفيروس نفسه)ولا حتى الفيروس الميت أو ال
ضعيف كما فى اللقاحات الأخرى(، بل فقط mRNA الخاص ببروتين السنبلة؛ ولا
يوجد احتمال للإصابة من اللقاح. RNA الفيروسى قصير العمر جدًا فى جسم الإن
سان ولا يمكنه دخول نوى الخلايا؛ التطعيم لا يغير الحمض النووى DNA للفرد.

تصنع شركات الأدوية لقاحات mRNA أولاً عن طريق استنساخ DNA الخاص
ببروتين السنبلة فى مزروعات من البكتيريا المعدلة وراثيًا؛ ثم تنقية DNA ونسخه
لصنع mRNA المكمل؛ وتغليف mRNA فى جسيمات دهنية نانوية، التى تثبت هـ
ذه الجزيئات الهشة وتعزز امتصاصها من قبل خلايا الإنسان. يُعطى اللقاح عن طر
يق الحقن العضلى. تأخذ خلايا العضلات mRNA المغلف وتترجمه لصنع بروتين ا
لسنبلة الخاص بفيروس كورونا.

عندما يكتشف الجهاز المناعى بروتين السنبلة، يصنع أجسامًا مضادة ضده. إذا غزا
فيروس SARS-CoV-2 ذلك الشخص لاحقًا، تتفاعل هذه الأجسام المضادة مع برو
تين السنبلة وتعطل الفيروس، مما يمنع الإصابة والمرض.

ساعدت التطعيمات، وأقنعة الوجه، والتباعد الاجتماعى بشكل كبير فى تقليل ا
نتشار COVID-19 على مستوى العالم، لكنها أيضًا علمت العالم درسًا مريرًا فى ع
لم الأوبئة: السيطرة على وباء مثل هذا ليست مسألة تعتمد بالكامل على أفضل ال
علوم، ويمكن أن تتعرض لخطر جسيم بسبب الشك العام فى التطعيم، والمقاومة
لاستخدام الأقنعة والتباعد الاجتماعى، و"وباء" من العلوم الزائفة والمعلومات الم
ضللة على الإنترنت، والنصائح السيئة، والأمثلة الشخصية، وسوء الإدارة حتى على
أعلى مستويات الحكومة. الطبيعة البشرية يمكن أن تكون عدوًا أكبر للصحة العامة
من الفيروس نفسه.

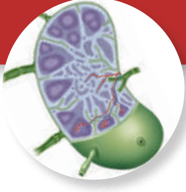
داخل الخلية المضيفة، يقوم الفيروس بتكرار RNA الخاص به بواسطة RNA
بوليميراز الخاص به. تقوم آلية تخليق البروتين فى الخلية المضيفة بترجمته جينيًا،
وتخليق البروتينات الفيروسية، وتجميعها مع نسخ RNA فى جسيمات فيروسية ح
ديدة فى الشبكة الإندوبلازمية.
يقوم جهاز جولجى بتغليفها فى حويصلات جولجى وتفرح الخلية عن سرب من مئا
ت الفيروسات الجديدة عن طريق الإفراز الخلوى. تنتقل هذه الفيروسات لإصابة خ
لايا جديدة، ومع إصابة المزيد والمزيد من الخلايا المضيفة، يزداد عدد الجسيمات ا
لفيروسية بشكل أُسّى. تموت الخلايا المضيفة المصابة إما بفعل خلايا المناعة أو
تموت ذاتيًا أثناء إطلاقها للفيروسات الجديدة.

علم الأمراض المناعى—آلية المرض

مع إطلاق الفيروسات الجديدة من الخلايا المصابة، فإنها تغزو ليس فقط المزيد م
ن خلايا الرئة بل العديد من الأعضاء الأخرى التى تحتوى على مستقبلات ACE2—ا
لقلب، الكلى، الجهاز الهضمى، الأوعية الدموية، والدماغ.
تستجيب الخلايا البلعمية والخلايا الشجرية بإفراز مجموعة متنوعة من السيتوكينا
ت—الإشارات الكيميائية التى، كما ستتذكر، تتوسط الالتهاب وردود الفعل المناع
ية الأخرى)انظر القسم 21.2f(. تتحول خلايا B المنسّطة إلى خلايا بلازمية وتفرز أح
سامًا مضادة مضادة للفيروسات تساعد فى تحييد الجسيمات الفيروسية وإزالتها.

تحدد خلايا T السامة المنسّطة والخلايا القاتلة الطبيعية الخلايا المضيفة المصابة و
تدمرها.
يعانى أكثر من 80% من المصابين من أعراض خفيفة إلى متوسطة تشبه الإن
فلونزا مثل الحمى والقشعريرة؛ التعب؛ الاحتقان، السعال، والتهاب الحلق؛ آلام ال
عضلات والمفاصل والبطن؛ والإسهال والقيء. فى بعض الحالات، يسبب فقدانًا
غريبًا لكنه مؤقتًا لحاستى الشم والتذوق)فقدان الشم وفقدان التذوق(. يعانى حوا
لى 14% من علامات وأعراض أكثر حدة تشمل صعوبة فى التنفس وقلة الأكسجي
ن فى الدم)نقص التأكسج(، فى حين يعانى 5% من تأثيرات حرجة—فشل تنفسى
، صدمة، وفشل متعدد الأعضاء. تتطلب هذه الحالات الاستشفاء، وغالبًا التنبيب
والتهوية، وتشكل معظم وفيات COVID-19.

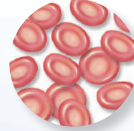
فى الحالات الشديدة من COVID-19، ينتج عن عاصفة السيتوكينات المكثفة
استجابة مفرطة الالتهاب مع إصابة متعددة الأعضاء للرئتين، القلب، الكلى، الأوع
ية الدموية، وأعضاء أخرى. مع تدمير طهارة الحويصلات الهوائية، يغزو الفيروس ال
شعيرات الدموية الدموية للرئتين ويسبب التهاب الأوعية الدموية الواسع الانتشار.
قد يحدث توسع وعائى واسع النطاق وتجلط دموى)تخثر منتشر داخل الأوعية الد
موية، DIC(؛ سكتة دماغية واحتشاء عضلة القلب؛ انسدادات رئوية؛ امتلاء الرئتين
بالسوائل، اللمفاويات، والوحيدات؛ ضعف إفراز مادة خافضة للتوتر السطحى تـ
شبه المنطف تساعد عادة فى منع انهيار القصيبات الهوائية والحويصلات؛ وتليف
رئوى حاد وضيق تنفسى)الشكل 21.33c(. الأسباب الأكثر شيوعًا لوفيات COVI
D-19 هى الفشل التنفسى والكلوى. معدل الوفيات



اتصالات النظام

تأثيرات الجهاز اللمفاوى وجهاز المناعة على أنظمة الأع
ضاء الأخرى

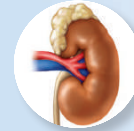
جميع الأنظمة
تقوم الأوعية اللمفاوية بتصريف فائض السوائل النسيجية، وتمنع الوذمة، وتزيل الحطام الخلوى والجراثيم. يراقب جهاز المناعة جميع الأعضاء ويوفر الدفاع ضد الممر
ضات. تقوم الخلايا القاتلة الطبيعية بدوريات فى الجسم وتحميه من السرطان. جميع الأنظمة معرضة لمجموعة متنوعة من اضطرابات فرط الحساسية والأمراض الم
ناعية الذاتية.



الجهاز الدورى
تعيد الأوعية اللمفاوية السوائل والخلايا
اللمفاوية إلى مجرى الدم؛ الطحال يتخلص
من خلايا الدم الحمراء المنتهية الصلاحية؛ الأعضا
ء اللمفاوية تقوم بترشيح الممرضات والحطام
من الدم. يسبب المناعة الذاتية تلف صمامات
القلب فى الحمى الروماتيزمية، وتؤدى فرط
الحساسية المناعية إلى فشل الدورة الدموية فى ا
لصدمة التأقية.



الجهاز التنفسى
تزيل البلاعم السنخية الحطام من ا
لرئتين؛ الأوعية اللمفاوية الرئوية وفيرة
بشكل خاص وتحتاج لمنع تراكم ال
سوائل فى الرئتين. تتراوح تأثيرا
ت فرط الحساسية المناعية من احتقا
ن تنفسى إلى الربو.



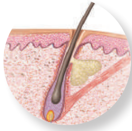
الجهاز البولى
تمتص الأوعية اللمفاوية السوائ
ل والبروتينات فى الكليتين، وهو أ
مر ضرورى لتمكين الكليتين من تر
كيز البول والمحافظة على الماء.
يسبب المناعة الذاتية التهاب كبى
بات الكلى الحاد.



الجهاز الهضمى
الأوعية اللمفاوية المسماة
اللاكتيلات فى الأمعاء الدقيقة
تمتص تقريبًا جميع الدهون الغذائية
والفيتامينات القابلة للذوبان فى الدهون.



الجهاز التناسلى
تتطلب المناعة ضد الخلايا التى تختلف جى
نيًا عن خلايا الجسم الأخرى وجود حواجز فى الخ
صيتين والمبيضين تحمى الحيوانات المنوية و
البويضات من التدمير المناعى. يمكن أن يسبب ع
دم تطابق فى نوع Rh هجوم الأجسام المضادة
على خلايا الدم الحمراء الجنينية، مما يؤدى إل
ى مرض انحلال الدم عند حديثى الولادة.



الجهاز الجلدى
يشمل الجهاز المناعى
الخلايا التغصنية فى البشرة،
التى تحمى من مسببات الأمراض.
الجلد هو موقع شائع للالتهاب.
يسبب المناعة الذاتية الفقاع ا
لشائع وبعض أمراض الجلد الأ
خرى.
تسبب فرط الحساسية طفحًا ح
لديًا مثل الشرى والتهاب ا
لجلد.



الجهاز الهيكلى
يسبب المناعة الذاتية التها
ب المفاصل الروماتويدى.



الجهاز العضلى
يسبب المناعة الذاتية الوهن العضلى ا
لوبيل، مما يؤدى إلى ضعف العضلات وا
لشلل.



الجهاز العصبى
تقوم خلايا الميكروغليا بتفتيش الجهاز
العصبى المركزى عن مسببات الأمر
اض وحطام الأنسجة.



الجهاز الصمائى
ينقل اللمف بعض الهرمونات.
المناعة الذاتية عامل فى داء السكرى من النوع ا
لأول. يسبب فرط الحساسية من النوع الثانى
تضخم الغدة الدرقية السمى. تفرز الخلايا الم
ناعية العديد من الهرمونات.

دليل الدراسة

قيّم نتائج تعلمك

16. أمثلة على السيتوكينات الالتهابية وأدوارها
17. كيف تفسر فرط التروية، والبراكينين، وعوامل أخرى العلامات الأربعة الأساسية للالتهاب
18. تجنيد وعمل البلعمات الكبيرة)الماكروفاجات(
19. تكوين وتركيب ومصير القيح
20. آليات إصلاح الأنسجة التي تتم بعد هزيمة العامل الممرض

21.3 المناعة التكيفية — الجوانب العامة

1. الخصائص الثلاثة المميزة للمناعة التكيفية
2. شكلان أساسيان للمناعة التكيفية، الفروقات بينهما، وأنواع العوامل الممرضة التي يهاجمه ا كل منهما
3. كيفية تصنيف المناعة التكيفية إلى نشطة أو سلبية وإلى طبيعية أو صناعية؛ أي الأنواع تؤدي إلى ذاكرة مناعية وحماية دائمة، وأيها لا تؤدي لذلك
4. تعريف *المستضد* والخصائص الكيميائية للمستضدات
5. دور الإبيتوب في مناعة

جزيء المستضد

6. الهابتينات وكيف تصبح مستضدية
7. تعريف *الأجسام المضادة* وأماكن وجود

الأجسام المضادة

8. تركيب مونومر الجسم المضاد
9. الفئات الخمس للأجسام المضادة والاختلافات الهيكلية والوظيفية بينها
10. تاريخ حياة خلايا T بما في ذلك أصلها؛ الهجرة إلى الغدة الزعترية؛ المواقع، العمليات، والأغراض من الانتقاء الإيجابي والسلبي؛ وتوزيع تجمع الخلايا اللمفاوية الساذجة
11. معاني *الكفاءة المناعية* و *تسامح الذات*، كيف يتم تحقيقهما، وأهميتهما للمناعة
12. تاريخ حياة خلايا B بما في ذلك أصلها، الانتقاء الإيجابي والسلبي، و التوزيع
13. ضرورة خلايا تقديم المستضد)APCs(للم ناعة؛ أنواع الخلايا التي تعمل كـAPCs؛ آلية مع الجة المستضد؛ ودور بروتينات MHC في تقد يم المستضد
14. الإنترلوكينات ودورها في المناعة

21.4 المناعة الخلوية

1. أربع فئات من الخلايا اللمفاوية T المشاركة في المناعة الخلوية، ووظيفة كل منها
2. ثلاث مراحل أساسية للمناعة الخلوية

15. أنواع اللوزتين، مواقعها، وتركيبها ووظيفتها؛ ال سبب الأكثر شيوعًا لالتهاب اللوزتين
16. موقع الطحال، التشريح العام، وعلم الأنسجة ؛ الفرق بين اللب الأحمر واللب الأبيض؛ وا لوظائف المرتبطة بكل نوع من اللب

21.2 المناعة الفطرية

1. ثلاثة خطوط دفاع ضد مسببات الأمراض
2. تعريف *الجهاز المناعي*؛ مكونات النظام
3. الاختلافات بين المناعة الفطرية والمكتسبة؛ الخصائص المميزة للأولى
4. ثلاث خصائص للجلد تجعله حاجزًا فعالًا ضد ا لممرضات؛ أدوار الأحماض العضوية والببتي دات المضادة للميكروبات في وظيفة الحاجز
5. كيف تقاوم الأغشية المخاطية الغزو الميكروبي
6. الآليات التي يستخدمها كل نوع من خلايا الدم البيضاء لمكافحة الممرضات والأمراض، بما في ذلك المواد الكيميائية التي يفرزها بعضها أثناء أداء هذه الوظائف
7. نوع واحد من اللمفاويات يشارك في المناعة الفطرية
8. الإنترفيرونات، مصدرها، وكيف تعارض انتشار الفيروسات
9. بروتينات المكمل، مصدرها، وكيف يتم تسميتها
10. ثلاثة مسارات لتفعيل المكمل؛ كيف يبدأ كل منها؛ أي المسارات تعمل في المناعة الفطر ية والتكيفية؛ وأربعة آليات لتدمير الممرضا ت تساعدها المكملات
11. أفعال الخلايا القاتلة الطبيعية وأدوار البروفر ينات والجرانزيمات في الدفاع
12. فوائد الحمى)الحمى(ولماذا قد تتعرض د فاعات الجسم للخطر بسبب الأدوية الخافضة للحرارة؛ مصادر المحفزات الحموية وكيف تؤد ي إلى بداية الحمى؛ مراحل ومسار الحمى وكي ف تكافح مسببات الأمراض؛ وخطر الحمى الم فرطة
13. الأربعة علامات الأساسية للالتهاب؛ المواد الك يميائية التي تحفز دفاعات الجسم وتبدأ الال تهاب؛ والأفعال المحددة لهذه المواد الكيميائية
14. أفعال العدلات مثل التهام الحوافة، والعبور ا لخلوي، والكيموتاكسيس، والبلعمة، والانفجار ال تنفسي، وإفراز السيتوكينات
15. آليات أخرى لاحتواء وتدمير مسببات الأمراض في الالتهاب

لاختبار معرفتك، ناقش المواضيع التالية مع شر يك دراسة أو كتابةً، ويفضل أن يكون ذلك من الذا كرة.

21.1 الجهاز اللمفاوي

1. وظائف ومكونات الجهاز اللمفاوي الأسا سية
2. تعريف اللمف، مطهره وتركيبته
3. كيفية إنتاج اللمف؛ خصائص الشعيرات اللم فاوية التي تسمح للخلايا والجسيمات الك بيرة الأخرى بدخول اللمف
4. الأوعية اللمفاوية الجامعة، الجذوع والقنوات الجامعة؛ تشابه الأوعية اللمفاوية مع بعض الأ وعية الدموية؛ وعلاقتها بالعقد اللمفاوية
5. أسماء 11 جذعًا لمفاويًا وقناتين جامعتين؛ م ناطق الجسم التي تصرفها؛ ونقطتا التفريغ ا للتان يفرغ فيهما اللمف إلى مجرى الدم
6. الآليات التي تدفع تدفق اللمف
7. تدفق السائل في النظام الغليمفاوي والأهمية الوظيفية لهذا النظام
8. ستة أنواع من الخلايا الموجودة في الأنسجة للمفاوية، ووظائفها
9. طبيعة الأنسجة اللمفاوية المنتشرة وأماكن و جودها؛ ماذا تعني MALT وأين توجد
10. كيف تختلف العقيدات اللمفاوية عن النسيج اللمفاوي المنتشر؛ اسم تجمعات العقيدات ا للمفاوية الموجودة في الأمعاء الدقيقة الطر فية
11. كيف تختلف الأعضاء اللمفاوية عن النسيج اللمفاوي المنتشر والعقد اللمفاوية؛ العضوان اللمفاويان الأساسيان والثلاثة أعضاء اللمفاوي ة الثانوية، ولماذا تُسمى بذلك
12. تركيب ونوظيفة نخاع العظم الأحمر
13. موقع الغدة الزعترية، التشريح العام، وعلم الأ نسجة؛ الفرق الوظيفي بين القشرة والنخاع؛ و ظائف خلايا الطهارة فيها؛ وضرورة الغدة الزع ترية للمناعة
14. تركيب ووظيفة العقد اللمفاوية؛ أهمية وجود كل من الأوعية اللمفاوية الواردة والصادرة في ا لعقد اللمفاوية، على عكس أي أعضاء لمفاوية أخرى؛ العدد التقريبي للعقد اللمفاوية والسبع مناطق التي تتركز فيها بشكل خاص؛ ومعنى *التهاب العقد اللمفاوية* و

تضخم العقد اللمفاوية

دليل الدراسة

3. السبب الأساسى للأمراض المناعية الذاتية؛ ما يمنعها عادةً؛ وثلاثة أسباب قد تؤدى إلى ظهور مرض مناعى ذاتى، مع مثال لكل منها
4. السبب الأساسى لأمراض نقص المناعة والسبب المحدد لمرض نقص المناعة المشترك الشديد (SCID)
5. علم أمراض متلازمة نقص المناعة المكتسبة (الإيدز)، بما فى ذلك تركيب فيروس نقص المناعة البشرية (HIV)؛ طريقة عمله؛ تأثيره على عدد خلايا T المساعدة؛ الأمراض التى يجعل الإيدز الشخص أكثر عرضة لها؛ كيف ينتقل فيروس HIV وكيف لا ينتقل؛ وطرق علاج الإيدز

2. كيف تستجيب خلية B المناعية المؤهلة عند مواجهتها مستضدًا أجنبيًا؛ أدوار بروتينات MHC-II وخلايا HT فى استجابتها
3. الاختيار الاستنساخى لخلايا B النشطة وتمايز خلايا الذاكرة وخلايا البلازما؛ الفرق بين خلية البلازما وخلية B
4. أربع آليات تكافح بها الأجسام المضادة المستضدات
5. الاستجابة الثانوية (الذاكرة المناعية الخلطية)

21.6 اضطرابات الجهاز المناعى

1. ثلاثة أشياء رئيسية يمكن أن تخطئ فى وظيفة الجهاز المناعى
2. فرط الحساسية؛ أسماء وخصائص أنواع الأربعة، وأمثلة على اضطرابات كل نوع

3. ما يفعله الخلية المقدمة للمستضد (APC) عند اكتشاف مستضد أجنبى؛ الفروقات الوظيفية بين بروتينات MHC-I وMHC-II؛ ومعنى *تقييد MHC*
4. التعرف على المستضد، التحفيز المشترك، والاختيار الاستنساخى لخلية T؛ تمايز خلايا T المختارة إلى خلايا فعالة وخلايا ذاكرة
5. كيف تحفز خلايا HT النيتروفيلات، خلايا NK، والبلعميات بعد تنشيطها
6. كيف تدمر خلايا CT المستهدفة بعد تنشيطها؛ أدوار الإنترفيرونات، البيروفين، الغرانزيمات، وعامل نخر الورم
7. خصائص الذاكرة المناعية واستجابة استدعاء خلايا T فى المناعة الخلوية

21.5 المناعة الخلطية

1. التشابهات والاختلافات بين المناعة الخلطية والمناعة الخلوية

الإجابات فى الملحق أ

اختبار استرجاع معلوماتك

8. تشمل العلامات الأساسية للالتهاب كل ما يلى *ما عدا*
أ. احمرار.
ب. تورم.
ج. حرارة.
د. حمى.
هـ. ألم.

9. يمكن لخلايا T المساعدة أن ترتبط فقط بخلايا أخرى تحمل
أ. بروتينات MHC-II.
ب. إبيتوب.
ج. موقع ارتباط المستضد.
د. موقع ارتباط المتمم.
هـ. بروتين CD4.

10. أى مما يلى ينتج عن نقص التسامح الذاتى؟
أ. متلازمة نقص المناعة الشديدة (SCID)
ب. الإيدز (AIDS)
ج. الذئبة الحمامية الجهازية
د. التأق (التأق التحسسى)
هـ. الربو

11. أى كائن دقيق قادر على التسبب فى مرض يُسمى ______.

12. تحتوى الأغشية المخاطية على إنزيم مضاد للبكتيريا يُسمى ______.

13. ______ هى حالة يكون فيها واحد أو أكثر من العقد اللمفاوية متورمة ومؤلمة عند اللمس.

5. الفعل السيتوليتيكى لنظام المتمم يشبه إلى حد كبير فعل
أ. إنترلوكين-1.
ب. عامل نمو مشتق من الصفائح الدموية.
ج. غرانزيمات.
د. بيرفورين.
هـ. IgE.

6. تصبح مستضدية عن طريق الارتباط ______ بجزيئات مضيفة أكبر.
أ. الإبيتوبات
ب. الهابتينات
ج. الإنترلوكينات
د. الحمى
هـ. جزيئات التصاق الخلايا

7. أى مما يلى يوضح بشكل صحيح ترتيب الأحداث فى المناعة الخلطية؟ لنفترض
1 = عرض المستضد،
2 = إفراز الأجسام المضادة،
3 = إفراز الإنترلوكين،
4 = الانتقاء الاستنساخى، و
5 = الالتقام الخلوى للمستضد.
أ. 2–5–1–4–3
ب. 4–2–1–3–5
ج. 2–4–1–5–3
د. 5–3–1–4–2
هـ. 5–1–3–4–2

1. العضو اللمفاوى الوحيد الذى يحتوى على أوعية لمفاوية واردة وصادرة هو
أ. الطحال.
ب. عقدة لمفاوية.
ج. اللوزة.
د. الجهاز الجليمفاوى.
هـ. الغدة الزعترية.

2. أى من الخلايا التالية تشارك فى المناعة الفطرية ولكن ليس فى المناعة التكيفية؟
أ. خلايا تى المساعدة
ب. خلايا تى السامة للخلايا
ج. الخلايا القاتلة الطبيعية
د. خلايا ب
هـ. خلايا البلازما

3. يُستخدم التفجر التنفسى بواسطة ______ لـ قتل البكتيريا.
أ. العدلات (النيتروفيلات)
ب. القاعديات (البازوفيلات)
ج. خلايا البدينة (الماستسلز)
د. خلايا القاتل الطبيعى (NK cells)
هـ. خلايا تى السامة للخلايا

4. أى من هؤلاء هو البلعمة؟
أ. خلية ميكروغليا
ب. خلية بلازمية
ج. خلية شبكية
د. خلية تى مساعدة
هـ. خلية بدينة

دليل GUIDE

19. ينتج التسامح الذاتى عن عملية تُسمى ______، حيث تموت الخلايا اللمفاوية المبرمجة للرد على المستضدات الذاتية.

20. أى مرض تهاجم فيه الأجسام المضادة أنسجة الجسم الخاصة يسمى ______ مرض

17. الإشارات الكيميائية التى ينتجها الكريات البيضاء لتحفيز كريات بيضاء أخرى تُسمى ______.

18. يرتبط ______ جزء من جسم مضاد يسمى جزء من مستضد يُسمى ______.

14. حركة الكريات البيضاء عبر جدار الشعيرات الدموية أو الوريد الصغير تُسمى ______.

15. المتمم ______ فى عملية تغلف البروتينات البكتيريا وتعمل كمواقع ارتباط للبلاعم.

16. أى مادة تسبب الحمى تُسمى a/an ______.

بناء مفرداتك الطبية

الإجابات فى الملحق أ

اذكر معنى كل عنصر من عناصر الكلمة، وقدم مصطلحًا طبيًا من هذا الفصل يستخدمه أو يستخدم نسخة معدلة منه.

1. أنا-
2. كرينو-
3. إكسترا-
4. -جينوس
5. مناع-
6. حركى-
7. لمفو-
8. -تضخم
9. مرض-
10. حرارى-

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

الإجابات فى الملحق أ

اشرح بإيجاز لماذا كل من العبارات التالية خاطئة، أو أعد صياغتها لتصبح صحيحة.

1. بعض البكتيريا تستخدم الليزوزيم لتسييل الهلام النسيجى وجعل التنقل أسهل لها.
2. الغدة الزعترية هى الموقع الرئيسى لتكوين جميع الخلايا اللمفاوية.
3. تسمى الإنترفيرونات بهذا الاسم لأنها تتداخل مع آليات الالتهاب.
4. تشارك الخلايا اللمفاوية التائية فقط فى المناعة الخلوية.
5. الغرض الأساسى من الانتقاء السلبى هو القضاء على الخلايا التائية التى لا تستطيع التعرف على المستضدات الأجنبية أو الاستجابة لها.
6. إحدى وظائف الغدة الزعترية والطحال هى ترشيح اللمف الوارد وإزالة الممرضات والشوائب الأخرى منه.
7. تعتمد جميع آليات عمل الأجسام المضادة فى النهاية على تثبيت المتمم كخطوة وسيطة.
8. يُعتبر أى شخص إيجابى الإصابة بفيروس نقص المناعة البشرية (HIV) مصابًا بمرض الإيدز.
9. اللااستجابة (Anergy) هى سبب شائع للأمراض المناعية الذاتية.
10. الخلايا البائية التى تدور بحرية فى مجرى الدم تُسمى خلايا البلازما.

اختبار فهمك

1. توفى ديفيد فيتر، الطفل المصاب بمتلازمة نقص المناعة الشديدة (SCID) التى نوقشت فى القسم 21.6ح، بسبب عدوى فيروس إبشتاين-بار الذى كان كامناً دون أن يُكتشف فى نخاع عظم أخته. (أ) لماذا تم اختيار أخت ديفيد كمتبرعة بنخاع العظم بدلاً من شخص آخر؟ (ب) بالنظر إلى أن الفيروس كان قاتلاً لديفيد، لماذا لم يسبب أى مرض فى أخته، وفعليًا كان موجودًا فيها دون أن يعلم أحد بذلك؟ (ح) هل تعتقد أن نقل دم الحبل السرى (انظر التعمق 18.3) كان خيارًا أفضل لديفيد من زراعة النخاع؟

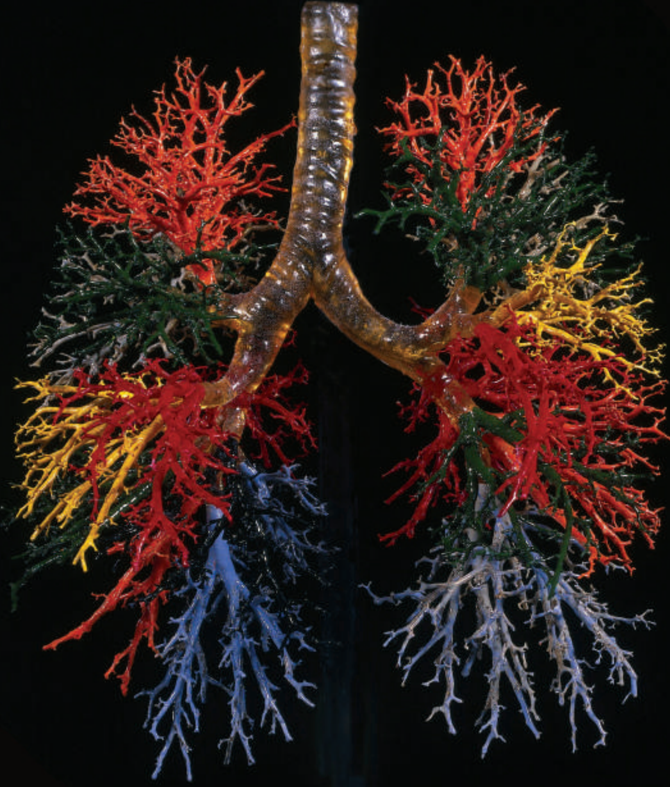
ناقش أسبابك.

2. عند علاج امرأة مصابة بورم خبيث فى الثدى الأيمن، يقوم الجراح بإزالة بعض العقد اللمفاوية الإبطية لديها. بعد الجراحة، تعانى المريضة من وذمة فى ذراعها الأيمن. اشرح السبب.

3. فتاة تعانى من عيب فى القلب تتلقى قلبًا جديدًا مزروعًا من طفل آخر توفى فى حادث. تُعطى المريضة مصلًا مضادًا للخلايا اللمفاوية يحتوى على أجسام مضادة ضد خلاياها اللمفاوية. لم يتم رفض القلب المزروع، لكن المريضة توفيت بسبب عدوى بكتيرية شديدة. اشرح سبب إعطاء المصل المضاد للخلايا اللمفاوية ولماذا كانت المريضة عرضة جدًا للعدوى.

4. يستخدم مركز أبحاث الحروق الفئران لدراسات زراعة الجلد. لمنع رفض الطعم، يتم استئصال الغدة الزعترية للفئران عند الولادة. على الرغم من أن خلايا B لا تتطور فى الغدة الزعترية، إلا أن هذه الفئران لا تظهر استجابة مناعية خلطية وتكون عرضة جدًا للعدوى. اشرح لماذا يؤدى إزالة الغدة الزعترية إلى تحسين نجاح زراعة الجلد ولكن يؤثر سلبًا على المناعة الخلطية.

5. قارن بين بنية خلية B وبنية خلية البلازما، وفسر كيف ترتبط اختلافات البنية بالاختلافات الوظيفية بينهما.



The bronchial trees with colors indicating bronchopulmonary segments
Mediscan/Alamy Stock Photo

CHAPTER 22

THE RESPIRATORY SYSTEM

مخطط الفصل

رؤى أعمق



الوحدة 11: الجهاز التنفسى

مراجعة سريعة

- ستعتمد دراسة تشريح الجهاز التنفسي على معرفتك بأنسجة الأغشية ا لمخاطية والمصلية)انظر القسم 5.5ح(؛ الطبقات الجدارية والحشوية لأغ شية الصدر)انظر الأطلس أ، القسم أ.3ب(؛ والطهارة الحرشفية البس يطة والعمودية الكاذبة المهدبة)انظر الجدول 5.2(.
- عند قراءة التهوية الرئوية، قد ترغب في الرجوع إلى العضلات الأساسي ة للتنفس)انظر الجدول 10.4(والعضلات المساعدة التي تساعد في التنفس)انظر الجداول 10.5، 10.6، 10.7(.
- مراجعة النخاع المستطيل والجسر في جذع الدماغ ستساعد في فهم مراكز التحكم التنفسي الموجودة هناك)انظر الأقسام 14.3أ، 1 4.3ب(.
- يتوقف تدفق الهواء التنفسي وتبادل الغازات على مبادئ التدفق حسب التدرجات)انظر القسم 1.6هـ(وتأثيرات الضغط والمقاومة على تدفق السوائل)انظر القسم 19.5أ(.
- الانتشار والعوامل التي تؤثر على معدله هي مركزية لتبادل الغازات في الرئتين والأنسجة الطرفية)انظر القسم 3.3ب(.
- معرفة بنية الهيموغلوبين ضرورية لفهم نقل الأكسجين في الدم)انظر القسم 18.2ب(.

يمثل التنفس الحياة. أول نفس لطفل وآخر زفير لشخص يحتضر هما من أكثر اللحظات درامية في التجربة الإنسانية. لكن لماذا نتنفس؟ يع ود السبب إلى أن معظم عمليات الأيض لدينا تتطلب بشكل مباشر أو غير مباشر جزيء ATP. تتطلب معظم عمليات تحليق ATP الأكسجين وتنتج ثاني أكسيد الكربون—مما يخلق الحاجة إلى التنفس لتزويد الجسم بالأكسج ين والتخلص من ثاني أكسيد الكربون. يتكون الجهاز التنفسي أساسًا من أ نابيب توصل الهواء إلى الرئتين، حيث ينتشر الأكسجين إلى الدم وينتشر ثاني أكسيد الكربون خارجًا.

تغطي الفصول من 18 إلى 24 الجهاز الدوري، والجهاز التنفسي، والجه از البولي بهذا الترتيب لسبب وجيه. يلعب الجهاز التنفسي دورًا حيويًا في ا لحفاظ على درجة الحموضة)pH(في الدم وسوائل الجسم الأخرى ويستجي ب بسرعة للتغيرات في كيمياء الدم. بالمقابل، يقوم الجهاز الدوري بتوزيع ا لأكسجين وثاني أكسيد الكربون لتبادلهما في الرئتين. كما تفصل الفصول ا لتالية، فإن الجهاز البولي ضروري في تنظيم حجم الدم ودرجة الحموضة و تركيبته.
لذا، فإن هذه الأنظمة الثلاثة متكاملة بشكل وثيق في وظائفها الحيوية. لي س فقط أن القلب والرئتين لهما علاقة مكانية وثيقة في تجويف الصدر، بل إنهما أيضًا مرتبطان وظيفيًا بشكل كبير لدرجة أنهما غالبًا ما يُطلق عليه ما معًا النظام القلبي الرئوي. يؤثر الاضطراب الذي يصيب الرئتين بشكل م باشر وواضح على القلب، والعكس صحيح.

22.1 تشريح الجهاز التنفسي

نتائج التعلم المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. ذكر وظائف الجهاز التنفسي؛

ب. تسمية ووصف أعضاء هذا الجهاز؛

ج. تتبع تدفق الهواء من الأنف إلى الحويصلات الرئوية؛ و

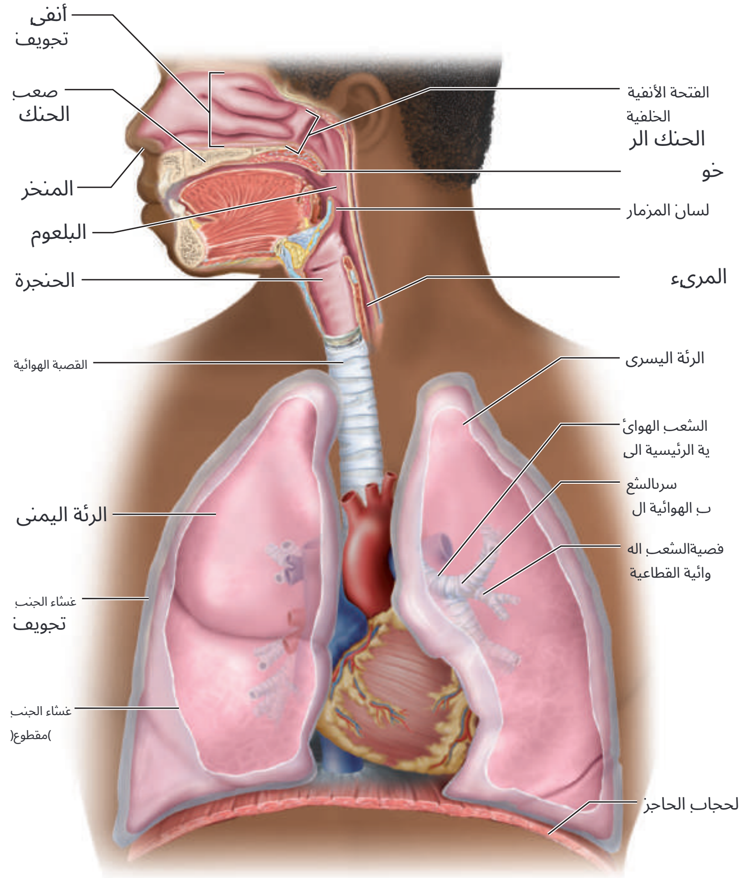
د. ربط وظيفة أي جزء من الجهاز التنفسي بتشريحه الكلي والمجهر ي.

مصطلح *التنفس* يمكن أن يعني تهوية الرئتين)التنفس(أو استخدام الأكسجين في الأيض الخلوي. في هذا الفصل، نحن مهتمون بالعملية الأولى. تم تقديم التنفس الخلوي في الفصل 2 ويتم تناوله بشكل أعم ق في الفصل 26.

الجهاز التنفسي هو نظام عضوي يأخذ الهواء بشكل إيقاعي ويطر ده من الجسم، مزودًا الجسم بالأكسجين وطاردًا ثاني أكسيد الكربون ا لذي ينتجه.
ومع ذلك، له نطاق أوسع من الوظائف مما يُعتقد عادة:

1. تبادل الغازات. يوفر تبادل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون بين الدم والهواء.
2. الاتصال. يخدم في الكلام وأشكال أخرى من التعبير الصوتي)ال ضحك، البكاء(.
3. الشعور بالرائحة. يوفر حاسة الشم، التي تُعد مهمة في التفاعلات الاجتماعية، اختيار الطعام، وتجنب الخطر)مثل تسرب الغاز أو الطعام الفاسد(.
4. توازن الحمض والقاعدة. من خلال التخلص من CO_2 يساعد في ا لتحكم في درجة حموضة سوائل الجسم. يتفاعل فائض CO_2 مع ا لماء وينتج حمض الكربونيك؛ لذلك، إذا لم تواكب عملية التنفس إ نتاج CO_2 يتراكم الحمض وتصبح سوائل الجسم ذات درجة حم وضة منخفضة بشكل غير طبيعي *)الحماض(*.
5. تنظيم ضغط الدم. تقوم الرئتان بخطوة في تخليق *الأنجيوتنسين II*، وهو هرمون ينظم ضغط الدم.
6. إنتاج الصفائح الدموية. أكثر من نصف صفائح الدم مصنوعة بواسطة الخلايا العملاقة)megakaryocytes(في الرئتين)وليس في نخا ع العظم(.
7. تدفق الدم واللمف. يخلق التنفس فروق ضغط بين الصدر والبطن تعزز تدفق اللمف والدم الوريدي.
8. تصفية الدم. تقوم الرئتان بتصفية الجلطات الدموية الصغيرة من مجرى الدم وتذويبها، مما يمنع الجلطات من انسداد المسارات الحيوية مثل الدورة التاجية، الدماغية، والكلوية.
9. طرد محتويات البطن. يساعد حبس النفس وانقباض البطن في طرد محتويات البطن أثناء التبول، التبرز، والولادة.

الأعضاء الرئيسية للجهاز التنفسي هي الأنف، البلعوم، الحنجرة، الق صبة الهوائية، الشعب الهوائية، والرئتين)الشكل 22.1(. داخل الرئتين، ا←يتدفق الهواء على مسار مسدود يتكون أساسًا من الشعب الهوائية الحويصلات الهوائية)مع بعض التعديلات التي سيتم تقد←لقصيبات يمها لاحقًا(. يتوقف الهواء الداخل في *الحويصلات الهوائية*)ملايين الأ كياس الهوائية الصغيرة ذات الجدران الرقيقة(، ويتبادل الغازات مع مجر ى الدم عبر جدار الحويصلة، ثم يتدفق للخارج.
منطقة التوصيل في الجهاز التنفسي تتكون من الممرات التي تخدم فقط تدفق الهواء، أساسًا من المنخرين مرورًا بالقصيبات الرئيسية. جدران هذه الممرات



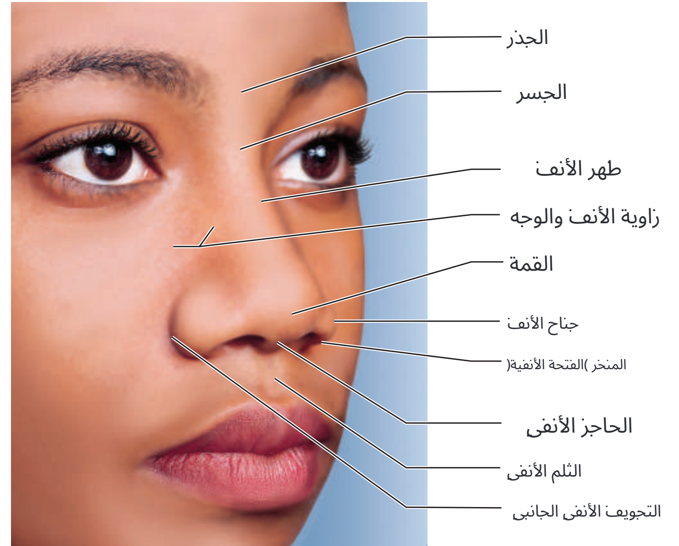
APR الشكل 22.1 الجهاز التنفسى.

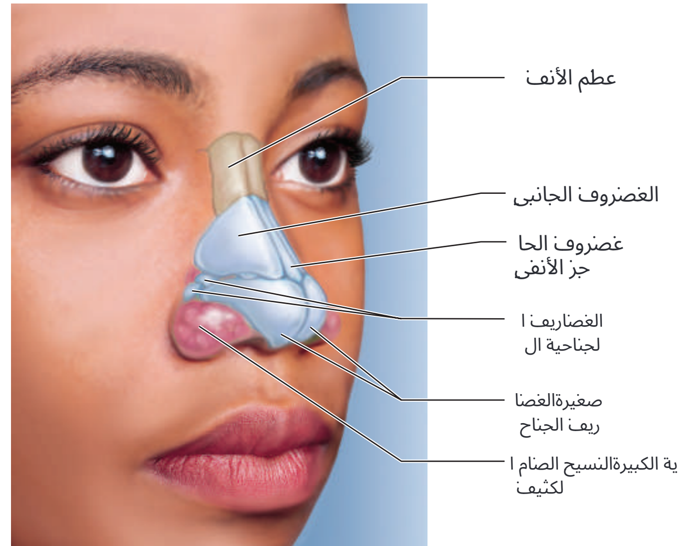
سميكة جدًا بحيث لا تسمح بانتشار كافٍ للأكسجين من الهواء إلى الد م. تتكون المنطقة التنفسية من الحويصلات الهوائية ومناطق تبادل ا لغازات الأخرى فى مجرى الهواء البعيد. يُطلق على مجرى الهواء من ا لأنف مرورًا بالحنجرة غالبًا اسم الجهاز التنفسى العلوى)أى الأعضاء ا لتنفسية فى الرأس والرقبة(، وتشكل المناطق من القصبة الهوائية مر ورًا بالرئتين الجهاز التنفسى السفلى)الأعضاء التنفسية فى الصدر(. و مع ذلك، فإن هذه المصطلحات غير دقيقة وتضع السلطات المختلفة خط الفصل بين الجهازين العلوى والسفلى فى نقاط مختلفة.

22.1أ الأنف

للأنف عدة وظائف: فهو يقوم بتدفئة وتنقية وترطيب الهواء المستن شق؛ كما يكتشف الروائح؛ ويعمل كغرفة رنين تُضخم الصوت. يمتد م ن زوج من الفتحات الأمامية المسماة فتحتى الأنف، أو الناريز(NAI R-eze))المفرد، نارس(، إلى زوج من الفتحات الخلفية المسماة ا لفتحات الأنفية الخلفية، أو الكوانا[1] (co-AH-nee))انظر الشكل 8 .)5أ

الجزء الوجهى من الأنف يتشكل بواسطة العظم والغضروف الزجاجى. ن صفه العلوى مدعوم بواسطة زوج من العظام الأنفية الصغيرة فى الوسط وال فك العلوى)maxillae(على الجانبين. نصفه السفلى مدعوم بواسطة الغضار يف الجانبية)lateral(والغرضية)alar( )الشكل 22.2(. من خلال تحسس أ نفك بنفسك، يمكنك بسهولة العثور على الحد الفاصل بين العظم فى الأعلى والغضروف الأكثر مرونة فى الأسفل. الجزء المتسع على كل جانب من





الشكل 22.2 تشريح منطقة الأنف.)أ(التشريح السطحى.)ب(الأنسجة الصامة التى تشكل الأنف.

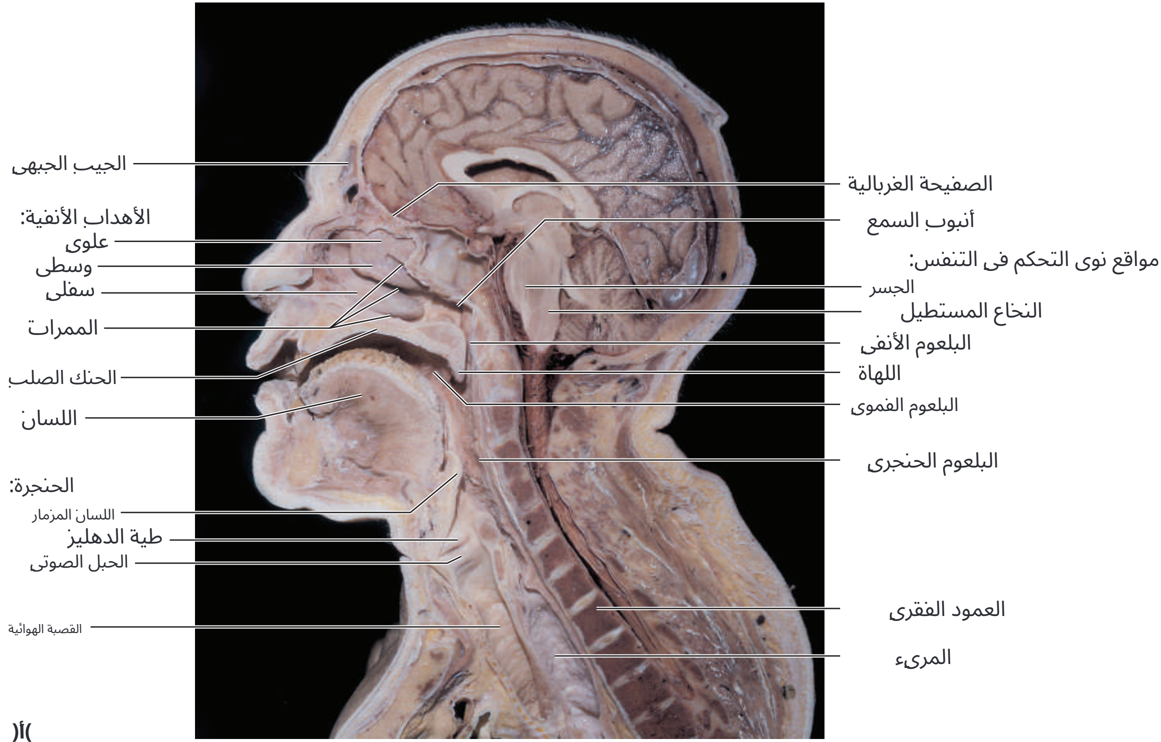
كين سالادين

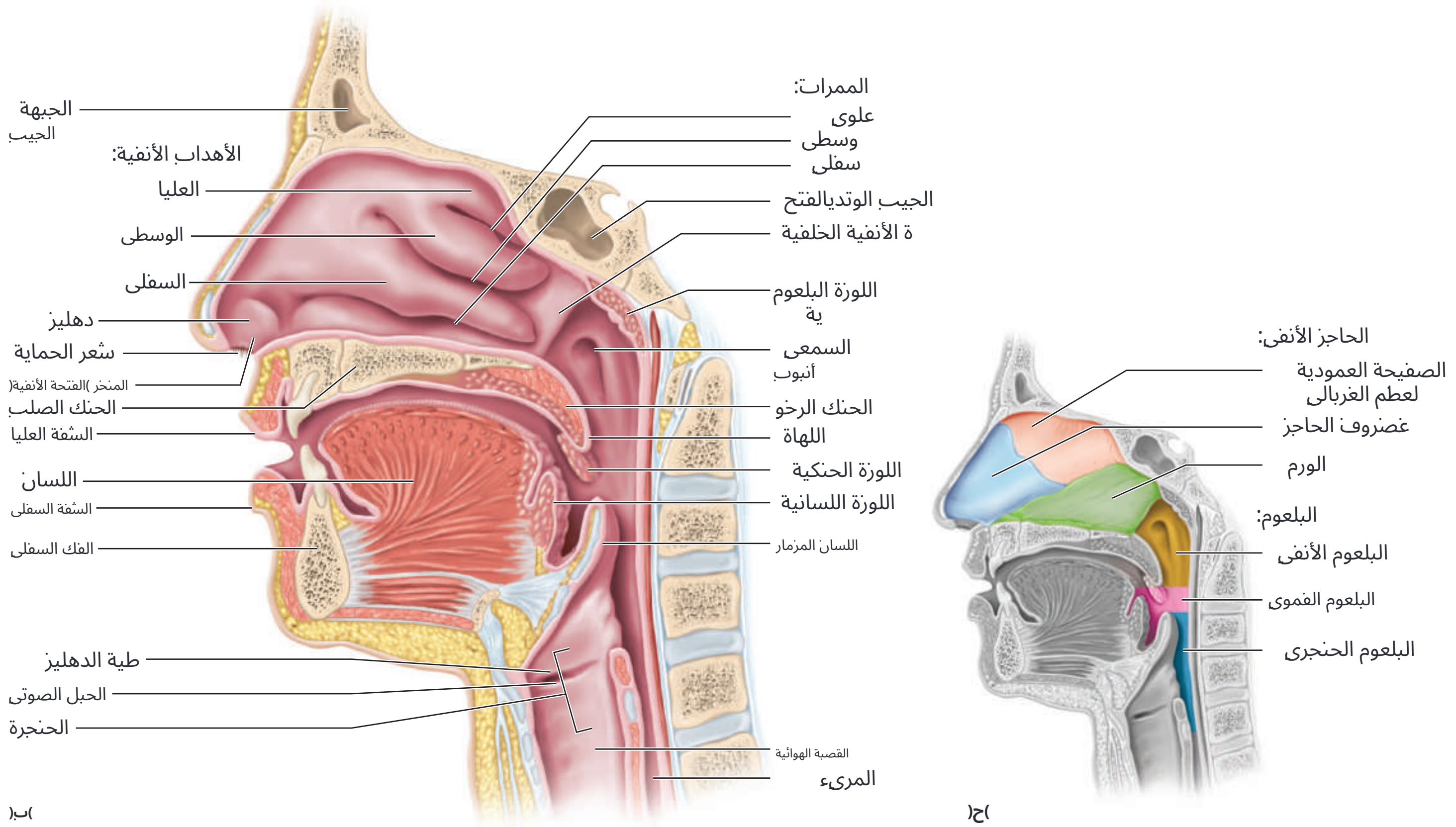
النهاية السفلية للأنف، المسماة ala nasi[2] (AIL-ah NAZE-eye)، تشكلها الغضاريف الجناحية والنسيج الصام الكثيف.

الحجرة الداخلية للأنف، التى تُسمى التجويف الأنفى، مقسمة إلى نصفين أيمن وأيسر يُطلق عليهما تجاويف الأنف (FAW-see))الشكل 22.3(. الجدار الفاصل هو صفيحة عمودية، تُسمى الحاجز الأنفى، ويت كون من عظم وغضروف زجاجى. يشكل العظم المحرق)vomer(الثل ث السفلى من الحاجز العظمى، بينما تشكل الصفيحة العمودية للعظم الغربالى)ethmoid(الثلثين العلويين من الحاجز العظمى)انظر الشكل 8.4ب(، ويشكل غضروف الحاجز الجزء الأمامى غير العظمى من الحاج ز. يتكون سقف التجويف الأنفى من عظمى الغربالى والوتدى، ويشكل ا لحنك الصلب أرضيته. يفصل الحنك بين

[1] الحنجرة = قمع

[2] ala = الجناح؛ nasi = الأنف





الشكل 22.3 تشريح الجهاز التنفسى العلوى.)أ(المقطع الوسيط للرأس.)ب(التشريح الداخلى.)ح(الحاجز الأنفى ومناطق البلعوم.

ارسم خطًا عبر الجزء)أ(من هذا الشكل لتحديد الحدود بين الجهاز التنفسى العلوى والسفلى.

تدفق الهواء عبر ذلك التجويف. ثم يتم توجيه معظم الهواء عبر
المنخر الآخر، مما يسمح للجانب المنتفخ بالوقت للتعافى من الجفاف. وهكذا،
يتغير تدفق الهواء السائد بشكل دورى
بين المنخرين الأيمن والأيسر. حتى الأهداب تتوقف عن الحركة فى الجانب الذى يعاد ترطيبه.
تسمى هذه التناوب فى تدفق الهواء بين الجانبين دورة الأنف.
تتحكم فيها منطقة تحت المهاد التى تؤثر على الأوعية الدموية الأنفية
من خلال الجهاز العصبى الذاتى. بالإضافة إلى إعادة ترطيب mخاط ا
لأنف، يُعتقد أنها تحسن مدى الحساسية للرائحة، حيث تتطلب بعض
الروائح تدفق هواء أسرع، وبعضها أبطأ، ليتم شمها بشكل مثالى. إذا
تم انسداد أحد المنخرين وتم تهوية التجويف الأنفى الآخر بشكل مفرط
لعدة أيام، فإن ظهارة العمود الكاذب الطبقى تتحول إلى ظهارة حرش
فية طبقية، التى تقاوم الجفاف بشكل أفضل. وهذا مثال على *التحول النسيجى* الموضح فى القسم 5.6ب.

22.1ب البلعوم

البلعوم)FAIR-inks, FAR-inks(هو قمع عضلى يمتد حوالى 13 سم)
5 بوصات(من فتحات الأنف الخلفية إلى الحنجرة. له ثلاث مناطق: ا
لبلعوم الأنفى، البلعوم الفمى، والبلعوم الحنجرى)الشكل 22.3ح(.

البلعوم الأنفى يقع خلف فتحات الأنف الخلفية وفوق الحنك الر
خو. يستقبل أنابيب السمع)البلعومية-الطبيلية أو أوستاشية(من الأذ
نين الوسطى ويحتوى على اللوزة البلعومية. ينحرف الهواء المستنشق
90 درجة إلى الأسفل أثناء مروره عبر البلعوم الأنفى. الجسيمات الكبير
ة نسبيًا)>10 ميكرومتر(عادة لا تستطيع الانعطاف بسبب قصورها ا
لذاتى. تصطدم بجدار البلعوم الأنفى وتلتصق بالمخاط بالقرب من اللو
زة، التى تقع فى موقع جيد للاستجابة للممرضات المحمولة جوًا.

البلعوم الفمى هو فراغ بين الحافة الخلفية
للحنك الرخو واللهاة.
البلعوم الحنجرى)la-RIN-go-FAIR-inks(يقع فى الغالب خلف
الحنجرة، ويمتد من الحافة العلوية للغضروف لسان المزمار إلى الحافة
السفلية لغضروف الحلقى. يبدأ المرىء من تلك النقطة.

يمر البلعوم الأنفى الهواء فقط ويُبطن بطبقة طلائية عمودية كاذ
بة الترتيب، بينما يمر البلعوم الفمى والبلعوم الحنجرى الهواء والطعام
والشراب ويُبطنان بطبقة طلائية حرشفية متعددة الطبقات مقاومة للا
حتكاك. تلعب عضلات البلعوم أدوارًا ضرورية فى البلع والكلام.

22.1ح الحنجرة

الحنجرة)LAIR-inks(هى حجرة غضروفية يبلغ طولها حوالى 4 سم)1
.5 بوصة( )الشكل 22.4(. وظيفتها الأساسية هى منع دخول الطعام وا
لشراب إلى مجرى الهواء، لكنها تطورت لتؤدى دورًا إضافيًا فى إنتاج ا
لصوت)النطق(فى العديد من الحيوانات؛ ومن ثم نعتبرها بشكل عام
"صندوق الصوت".
الفتحة العلوية للحنجرة محمية بطية من النسيج تسمى لسان الم
زمار4 تقع خلف جذر اللسان مباشرة. فى حالة الراحة، يقف لسان المز
مار بشكل شبه عمودى. أثناء البلع، تقوم عضلات الحنجرة الخارجية ب
سحب الحنجرة إلى الأعلى نحو لسان المزمار، ويدفع اللسان لسان الم
زمار للأسفل ليقابله، ويغلق لسان المزمار مجرى الهواء ويوجه الطعام
والشراب إلى المرىء خلفه. ومع ذلك، تلعب الطيات الدهليزية للحنجر
ة، التى سيتم مناقشتها لاحقًا، دورًا أكبر فى منع دخول الطعام والشرا
ب إلى مجرى الهواء.

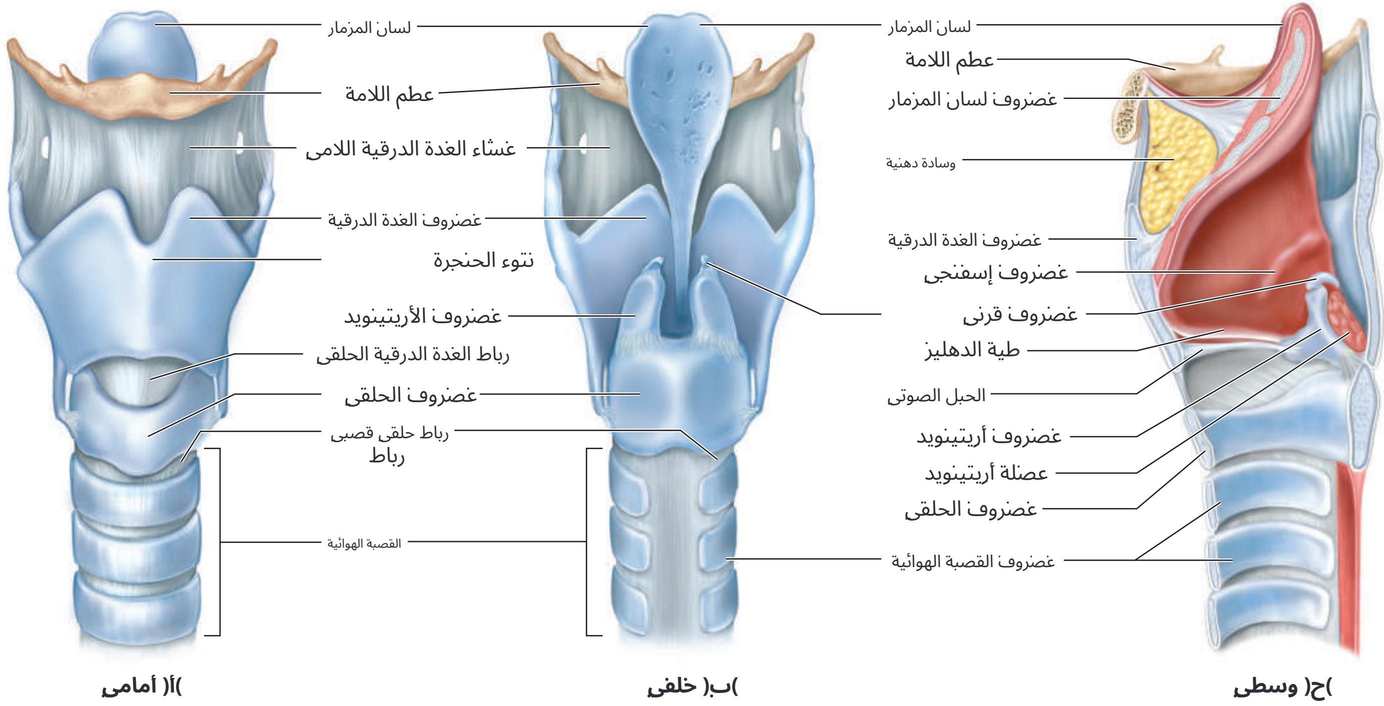
[4] *epi*= فوق، على؛ *glottis*= خلف اللسان

تُفصل التجويف الأنفى عن التجويف الفموى وتسمح لك بالتنفس أثناء
مضغ الطعام. تصب الجيوب الأنفية المجاورة للأنف وقنوات الدمع
فى التجويف الأنفى)انظر الأشكال 8.7، 16.24 على التوالى(.
يبدأ التجويف الأنفى بحجرة صغيرة متوسعة تُسمى
الدهليز داخل فتحة الأنف مباشرة، ومحاطة بجناح الأنف. هذا المكان
مبطن بطبقة طلائية حرشفية متعددة الطبقات مثل جلد الوجه، ويحتوى
على شعر حارس خشن، أو vibrissae)فى-بريس-سى(، الذى يمنع دخول
الحطام إلى الأنف. خلف الدهليز، يتسع التجويف الأنفى إلى حجرة
أكبر بكثير، لكنها لا تحتوى على مساحة مفتوحة كبيرة. يشغل معظمها
ثلاثة طيات من الأنسجة— الطُرَف العلوى،
الوسيط، والسفلى من
الأهداب الأنفية3)كون-كى(، أو الدوامات—
التى تبرز من الجدران الجانبية نحو الحاجز)الشكل 22.3؛ انظر أيضًا
الشكل 8.6 للرؤية الأمامية(. تحت كل طُرَف يوجد ممر هوائى ضيق
يسمى المَدْرَب)مى-آى-توس(. ضيق هذه الممرات والاضطراب الذى
تسببه الطُرَف يضمن أن معظم الهواء يلامس الغشاء المخاطى فى طريقه
عبرها. وأثناء ذلك، يلتصق معظم الغبار فى الهواء بالمخاط، ويكتسب
الهواء الرطوبة والحرارة من الغشاء المخاطى.تمكن الطُرَف الأنف من تنظيف
الهواء وتدفئته وترطيبه بشكل أكثر فعالية مما لو كان الهواء يتدفق
بدون عوائق عبر مساحة كبيرة مفتوحة.
بعد الدهليز، يتكون الغشاء المخاطى)الغشاء المخاطى(للتجويف
الأنفى من طلائية عمودية كاذبة الطبقات مزودة بأهداب تغطيها طبقة
رقيقة من النسيج الضام الرخو)انظر الأشكال 5.7، 5.33(. فى معظم
الغشاء المخاطى، تُسمى الطلائية الطلائية التنفسية. خلاياها المهدبة
مغطاة بحافة من حوالى 200 هدبة متحركة لكل خلية ومغطاة بطبقة من
المخاط.
ثانى أكثر الخلايا وفرة فى الطلائية هى خلايا الكأس على شكل كأس
النبيذ، التى تفرز معظم المخاط. وبأعداد أقل، تحتوى الطلائية التنفسية
أيضًا على خلايا صماء، وخلايا فرشاة كيميائية الحساسية، وخلايا جذعية
قاعدية.
الغبار المستنشق، وحبوب اللقاح، والبكتيريا، وغيرها من المواد ا
لغريبة تُحبس فى طبقة مخاطية لزجة تغطى الظهارة. تضرب أهداب ا
لظهارة على شكل موجات تدفع هذا المخاط المحمّل بالحطام إلى الخ
لف نحو البلعوم، حيث يتم ابتلاعه. يتم هضم الحطام الجسيمى أو يمر
عبر الجهاز الهضمى بدلاً من تلويث الرئتين.

تحتوى منطقة صغيرة من مخاط الأنف على ظهارة شمية، وهى
مسؤولة عن حاسة الشم. تغطى حوالى 5 سم^{2}فى سقف كل تجويف أ
نفى والأجزاء المجاورة من الحاجز والصدفة العلوية. يتم تفصيل هيكله
ا ووظيفتها فى القسم 16.3ب)انظر الشكل 16.7(. من الفروق الملح
وظة مع الظهارة التنفسية أن الأهداب فى الظهارة الشمية غير متحركة
. فهى مستوية ضد سطح المخاط مثل طبق من نودلز السباغيتى وتع
مل على ربط جزيئات الرائحة، وليس لدفع المخاط.

الطبقة الخاصة)اللامينا بروبرا(فى تجويف الأنف هى نسيج ضام
رخو)شبكى(. فى مخاط الجهاز التنفسى، تحتوى على عدد تكمل المخا
ط الذى تنتجه خلايا الكأس. فى مخاط الشم، تحتوى اللامينا بروبرا عل
ى غدد شمية مصلية كبيرة. هذه تفرز سائل مائى مصلّى يغمر الأهدا
ب الشمية ويسهل انتشار جزيئات الرائحة من الهواء المستنشق إلى
مستقبلاتها على الأهداب.
تحتوى اللامينا بروبرا على أوعية دموية كبيرة تساعد على تدفئة ا
لهواء. تحتوى الصدفة السفلية على ضفيرة وريدية واسعة تسمى الن
سيج الانتصابى)الجسم المتورم(. كل 30 إلى 60 دقيقة، \ينتفخ الن
سيج الانتصابى فى جانب واحد بالدم ويحد من

[3] قوقعة = صدفة بحرية



الشكل 22.4 تشريح الحنجرة.)أ(المنظر الأمامى.)ب(المنظر الخلفى.)ح(المقطع الوسيط مع إزالة معظم العضلات لإظهار الغضاريف.

APR

ما هى الثلاثة غضاريف فى هذه الصورة التى تتمتع بحركة أكثر من غيرها؟

تعمل غضاريف الأرتينويد والقرنية فى الكلام، كما سيُشرح لاحقًا. يدع م زوج من غضاريف الإسفينية)cue-NEE-ih-form(الأنسجة الرخو ة بين الأرتينويد واللحمى.

تربط مجموعة من الأربطة الليفية غضاريف الحنجرة معًا وتشكل نظام تعليق للمجرى الهوائى العلوى.
ورقة عريضة تسمى الغشاء الدرقى اللامى تعلق الحنجرة من العطم ا للامى فوقها. أسفل ذلك، يعلق الرباط الحلقى الدرقى غضروف الحل ق من الغضروف الدرقى.
هذا هو الأهم سريريًا بين هذه الأربطة، حيث تُجرى فيه الشقوق الطار ئة فى *شق الحنجرة الحلقى* لاستعادة التنفس عندما يكون المجرى ا لهوائى أعلاه مسدودًا)انظر التعمق 22.1(. يعلق الرباط الحلقى الرغام ى الرغامى من غضروف الحلق. ويُعتبر *رباطًا خارجيًا* لأنه يربط الحنج رة بعضو آخر، وهو الرغامى. أما البقية فتُعتبر *أربطة داخلية* لأنها موج ودة بالكامل داخل الحنجرة وتربط غضاريفها التسعة ببعضها البعض؛ وتشمل أربطة الحبال الصوتية والطيات الدهليزية.

الجدار الداخلى للحنجرة يحتوى على طيتين على كل جانب تمتدا ن من الغضروف الدرقى فى الأمام إلى غضاريف الأرتينويد فى الخلف . الطيات الدهليزية العلوية)الشكل 22.4ح(لا تلعب دورًا فى الكلام لكنها تغلق الحنجرة أثناء البلع. تدعمها الأربطة الدهليزية . أما الحبال الصوتية السفلية)الطيات الصوتية(فتنتج الصوت عندما يمر الهواء بينهما.

فى الرضع، يكون الحنجرة مرتفعة نسبيًا فى الحلق ويلامس لسان المزمار الحنك الرخو. هذا يخلق مسارًا هوائيًا مستمرًا إلى حد ما من تجويف الأنف إلى الحنجرة ويسمح للرضيع بالتنفس باستمرار أثناء ال بلع. يقوم لسان المزمار بتحويل الحليب بعيدًا عن مجرى الهواء، مثل ا لمطر الذى ينزلق عن خيمة مفتوحة من الطرفين بينما تهب نسمة هو اء من خلالها. بحلول عمر السنتين، يصبح جذر اللسان أكثر عضلية ويد فع الحنجرة إلى النزول إلى موضع أدنى. عندها يصبح من المستحيل ا لتنفس والبلع فى نفس الوقت دون اختناق.

يتكون هيكل الحنجرة من تسع غضاريف. الثلاثة الأولى منفردة و كبيرة نسبيًا. الغضروف الأعلى، وهو الغضروف اللحمى ، هو صفيحة داعمة على شكل ملعقة من الغضروف المرن فى اللهاة. الأكبر، وهو ا لغضروف الدرقى ، سُمى بهذا الاسم لشكل درعه. يغطى بشكل واسع الجوانب الأمامية والجانبية للحنجرة. له قمة أمامية تُسمى البروز الح نجرى ، والذى يُطلق عليه غالبًا بشكل عام اسم تفاحة آدم.

يحفز التستوستيرون نمو هذا البروز، ولذلك يكون أكبر عند الذكور مقار نة بالإناث. أسفل الغضروف الدرقى يوجد غضروف الحلقى على شك ل حلقة)CRY-coyd(. يشكل الغضروف الدرقى والحلقى معًا "صندو ق" صندوق الصوت.
الغضاريف المتبقية أصغر وتوجد فى ثلاث أزواج.
خلف الغضروف الدرقى يوجد غضروفى الأرتينويد)AR-ih-TEE-noyd(، ومتصل با طرافهما العليا زوج من القرون الصغيرة، وهى الغضاريف القرنية (cor-NICK-you-late).

[8] *كورنى* = قرن؛ *كول* = صغير؛ *أيت* = يمتلك
[9] *كونى* = إسفين؛ *فورم* = شكل

[5] *ثاير* = درع؛ *oid*= يشبه
[6] *كريكو* = حلقة؛ *oid*= يشبه
[7] *أريتين* = مغرفة؛ *oid*= يشبه

تحتوي على الأربطة الصوتية ومغطاة بطبقة طلائية حرشفية متعددة ا لطبقات، وهي الأنسب لتحمل الاهتزاز والاحتكاك بين الحبال. تُسمى الحبال الصوتية والفتحة بينهما معًا الحنجرة)الشكل 22.5أ(.

جدران الحنجرة عضلية إلى حد كبير. العضلات الخارجية السطحية تربط الحنجرة بعظم اللامة وترفع الحنجرة أثناء البلع. وتُسمى أيضًا م جموعة تحت اللامة، وتم تسميتها ووصفها في الجدول 10.2.

العضلات الداخلية الأعمق تتحكم في الحبال الصوتية عن طريق سحب غضاريف الكورنيكولات والأريتينويد، مما يؤدي إلى دوران الغ ضاريف. اعتمادًا على اتجاه دورانها، تقوم غضاريف الأريتينويد بتباعد أ و تقارب الحبال الصوتية)الشكل 22.6(. الهواء الذي يُجبر على المرور بين الحبال الصوتية المتقاربة يهتز بها، مما ينتج صوتًا عالي النغمة ع ندما تكون الحبال مشدودة نسبيًا وصوتًا منخفض النغمة عندما تكون أكثر ارتخاءً. في الذكور البالغين، تكون الحبال الصوتية عادة أطول وأك ثر سمكًا، وتهتز ببطء أكبر، وتنتج أصواتًا منخفضة النغمة مقارنة بالإنا ث، تمامًا كما تنتج الأوتار الأطول والأسمك في البيانو نغمات أعمق م ن الأوتار الأقصر والأرق. يتم تحديد شدة الصوت بقوة الهواء المار بين الحبال الصوتية.
على الرغم من أن الأحبال الصوتية وحدها تُنتج الصوت، إلا أنها لا تُنتج كلامًا مفهومًا؛ فقد شبّه بعض علماء التشريح صوتها بنداء بطة الصيا د. تُشكّل الأصوات الخام الصادرة من الحنجرة إلى كلمات بواسطة حر كات البلعوم، وتجويف الفم، واللسان، والشفاه.

22.1د القصبة الهوائية

القصبة الهوائية)TRAY-kee-uh(، أو "أنبوب الهواء"، هي أنبوب يبلغ طوله حوا لي 12 سم)4.5 بوصة(وقطره 2.5 سم)1 بوصة(، وتقع أمام المريء)الشكل 2 2.7أ(. تدعمها من 16 إلى 20 حلقة على شكل حرف C من الغضروف الزجاجي. سُميت القصبة الهوائية بهذا الاسم بسبب الملمس المموج الذي تمنحه

الشكل 22.5مناظير داخلية للجهاز التنفسي.
)أ(منظر علوي للحنجرة، يُرى باستخدام منظار الحنجرة.)ب(الطرف السفلي للق صبة الهوائية، حيث تتفرع إلى الشعب الهوائية الرئيسية الاثنتين، يُرى با ستخدام منظار الشعب الهوائية.

أ: CNRI/مكتبة صور العلوم/Getty Images؛ ب: BSIP/Newscom

الشكل 22.6 عمل بعض عضلات الحنجرة الداخلية على الأحبال الصوتية.
)أ(تقريب الأحبال الصوتية بواسطة عضلات الكريكوأريتينويد الجان بية.)ب(الأحبال الصوتية المقربة كما تُرى بواسطة المنظار الحنجري.
)ح(إبعاد الأحبال الصوتية بواسطة ع ضلات الكريكوأريتينويد الخلفية.)د(الأحبال الصوتية المبعدة كما تُرى بوا سطة المنظار الحنجري. العضلات الدا خلية أكثر عدداً وتعقيداً بكثير من هذ ين الزوجين المعزولين للشرح.

الحنجرة
الغدة الدرقية
الغضروف
الغضروف الحلقى
الغضروف
القصبة الهوائية
تفرع الق
صبة الهوائية
فصى
السُعب الهوائية
السُعب الهوائية
الرئيسية
القصيبات ا
لقطاعية
)أ(

المخاط
المصعد المخاطى الهدبى
المصعد
الجسيمات
من الحطام
الطهارة:
الخلية الكاسية
الخلية المهدبة
الغدة المخاطية
الغضروف
خلايا الغضروف)خلايا غضروفية(
)ب(

عضلة القصبة الهوائية
الغضروف الزجاجى
حلقة الغضروف
اللمعة
الغشاء المخاطى
الغدة المخاطية
الغشاء المحيط بالغضروف
خلفى
أمامى
)ح(

الشكل 22.7 تشريح الجهاز التنفسى السفلى.)أ(منظر أمامى.)ب(مقطع طولى للقصبة الهوائية يطهر عمل السلم المخاطى الهدبى.)ح(مقطع عرضى للقص APR بة الهوائية يطهر غضروف القصبة الهوائية على شكل حرف C.

لماذا تدخل الأجسام المستنشقة غالبًا إلى القصبة الهوائية الرئيسية اليمنى أكثر من اليسرى؟

بواسطة هذه الحلقات؛[10] يجب أن تكون قادرًا على تحسس بعضها بين حلقك وعظم القص. مثل اللولب السلكى فى خرطوم المكنسة الكهربائية، تعزز حلقات الغضروف القصبة الهوائية وتمنعها من الانهيار عند الشهيق وخلق فراغ جزئى فى مجرى الهواء. الجزء المفتوح من C يواجه الخلف، حيث يمتد عليه عضلة ملساء، وهى العضلة القصبية (trachealis) (الشكل 22.7ح). الفجوة فى C تسمح بمساحة للمرىء ليتوسع عند مرور الطعام المبتلع. تنقبض أو تسترخى العضلة القصبية لضبط تدفق الهواء.

البطانة الداخلية للقصبة الهوائية هى طهارة عمودية كاذبة الطبقات تتكون بشكل رئيسى من خلايا كؤوس تفرز المخاط، وخلايا مهدبة، وخلايا جذعية قاعدية قصيرة (الشكلان 22.7ب، 22.8). يحبس المخاط الجسيمات المستنشقة، وحركة الأهداب الصاعدة تدفع المخاط المحمل بالحطام نحو البلعوم حيث يُبتلع. تُسمى هذه الآلية لإزالة الحطام بالسلم المخاطى الهدبى.

النسيج الضام تحت طهارة القصبة الهوائية يحتوى على عقيدات لمفاوية، وغدد مخاطية وسرية، وغضاريف القصبة الهوائية. الطبقة الخارجية للقصبة الهوائية، المسماة الغلاف الخارجى (adventitia)، هى نسيج ضام ليفى يمتزج مع الغلاف الخارجى لأعضاء أخرى فى المنصف، وخاصة المرىء.



نظرة أعمق 22.1

تطبيق سريرى

شق القصبة الهوائية

تتضح الأهمية الوظيفية لتجويف الأنف بشكل خاص عند تجاوزه. إذا انسدت الممرات الهوائية العلوية، قد يكون من الضرورى عمل فتحة مؤقتة فى القصبة الهوائية أسفل الحنجرة وإدخال أنبوب للسماح بتدفق الهواء — إجراء يسمى شق القصبة الهوائية. (الفتحة الدائمة تسمى فتحة القصبة الهوائية (tracheostomy).) تُجرى عمليات شق القصبة الهوائية المنقذة للحياة مئات المرات يوميًا فى الولايات المتحدة وحدها. تمنع هذه العمليات الاختناق، لكن الهواء المستنشق يتجاوز تجويف الأنف وبالتالى لا يتم ترطيبه. إذا تُركت الفتحة لفترة طويلة، تجف الأغشية المخاطية للجهاز التنفسى وتتشكل عليها قشور، مما يعيق إزالة المخاط من الجهاز ويعزز حدوث العدوى. عندما يكون المريض على جهاز التنفس الصناعى ويتم إدخال الهواء مباشرة إلى القصبة الهوائية (التنبيب)، يجب أن يتم ترشيح الهواء وترطيبه بواسطة الجهاز لمنع تلف الجهاز التنفسى.

[10] trache = خشن

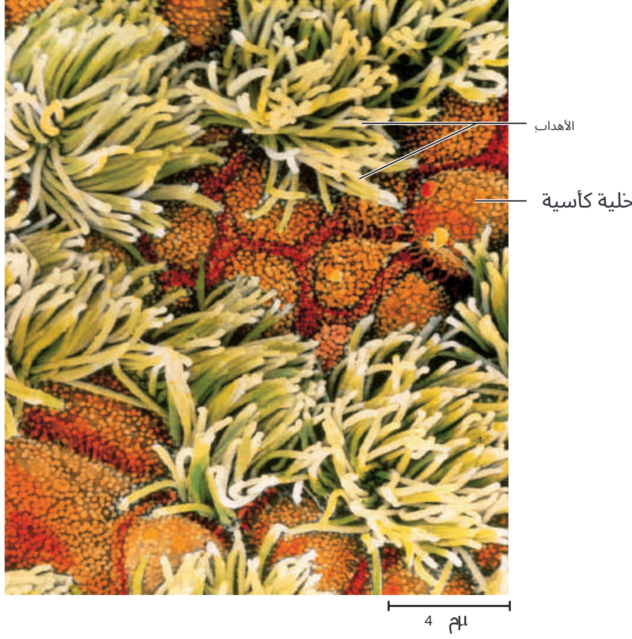
يضغط القلب عليها؛ ويظهر جزء من هذا أماميًا على شكل شق قلبى على شكل هلال فى هامش الرئة. للرئة اليمنى ثلاث فصوص— العلو ى، الأوسط، والسفلى. يوجد شق عميق يسمى الشق الأفقى يفصل بين الفص العلوى والأوسط، وشق مائل مماثل يفصل بين الفص الأ وسط والسفلى. للرئة اليسرى فصان فقط العلوى و السفلى وشق ما ئل واحد.

الشجرة القصبية

لكل رئة نظام متفرع من أنابيب الهواء يسمى الشجرة القصبية، يمتد من الشعب الهوائية الرئيسية إلى حوالى 65000 القصيبات الطرفية. ينشأ من التفرع فى القصبة الهوائية، الشعب الهوائية الرئيسية اليم نى)الأولية( )برونكوس(بطول 2 إلى 3 سم. وهى أعرض قليلاً وأكثر عم ودية من اليسرى؛ وبالتالى، فإن الأجسام الغريبة المستنشقة)المستن شقة(تعلق فى الشعب الهوائية اليمنى أكثر من اليسرى. تنشأ من ال شعب الهوائية اليمنى ثلاث فروع— العلوى، الأوسط، والسفلى الشع ب الهوائية الفصية)الثانوية(—واحد لكل فص من فصوص الرئة. ال شعب الهوائية الرئيسية اليسرى بطول حوالى 5 سم وأضيق قليلاً وأق ل عمودية من اليمنى. تنشأ منها الشعب الهوائية الفصية العلوية وال سفلية للفصين فى الرئة اليسرى.

فى كلا الرئتين، تتفرع القصبات الفصية إلى القصبات القطاعية)الثالثية(. هناك 10 منها فى الرئة اليمنى و8 فى الرئة اليسرى. كل وا حدة منها تهوى وحدة وظيفية مستقلة من نسيج الرئة تُسمى القطاع القصبى الرئوى. تُظهر الصورة الافتتاحية لهذا الفصل قالبًا لأشجار الق صبات تم صنعه بواسطة تقنية قالب التآكل الموضحة فى الفصل 3، حيث تم حقن كل قطاع قصبى رئوى بلون مختلف من الراتنج.

تدعم القصبات الرئيسية، مثل القصبة الهوائية، بواسطة حلقات من الغضروف الزجاجى، بينما تتحول الغضاريف إلى صفائح متداخلة على شكل هلال بحلول الوقت الذى نصل فيه إلى القصبات الفصية و القطاعية . جميع القصبات مبطنة بطبقة طلائية عمودية كاذبة متعددة الطبقات مزودة بأهداب، لكن الخلايا تصبح أقصر والطبقة الطلائية أر ق كلما تقدمنا نحو الأطراف. تحتوى الطبقة الخاصة على وفرة من الغد د المخاطية والعقد اللمفاوية *)النسيج اللمفاوى المرتبط بالغشاء المخ اطى، MALT(*، والتى تقع فى موقع مناسب لاعتراض مسببات الأمرا ض المستنشقة. تحتوى جميع فروع شجرة القصبات على كمية كبيرة من النسيج الضام المرن، الذى يساهم فى الارتداد الذى يدفع الهواء خ ارج الرئتين فى كل دورة تنفسية.
يحتوى الغشاء المخاطى أيضًا على طبقة متطورة من العضلات الملساء، المع روفة باسم *العضلة المخاطية*, التى تنقبض أو تسترخى لتضييق أو توسيع م جرى الهواء، وبالتالى تنظيم تدفق الهواء.
القصيبات)BRON-kee-olz(هى امتدادات لمجرى الهواء تفتقر إلى الغضروف الداعم ويبلغ قطرها 1 مم أو أقل. الجزء من الرئة ا لذى تهويه قصيبة واحدة يُسمى الفصيصة الرئوية. تحتوى القصيبات على طلائية مكعبة مزودة بأهداب وطبقة متطورة من العضلات المل ساء فى جدرانها. التقلصات التشنجية لهذه العضلات عند الوفاة تس بب ظهور تجويف القصيبات بشكل متموج فى معظم المقاطع النس يجية.
تنقسم كل قصيبة إلى 50 إلى 80 قصيبة نهائية، وهى الفروع ال نهائية لمنطقة التوصيل)الشكل 22.11(. يبلغ قطرها 0.5 مم أو أقل ولا تحتوى على غدد مخاطية أو خلايا كأسية. ومع ذلك، تحتوى على أه داب، لذا يمكن دفع المخاط الذى يصرف إليها من الممرات الهوائية ا لأقرب بواسطة السلم المخاطى الهدبى، مما يمنع احتقان القصيبات ا لنهائية والحويصلات الهوائية.



الشكل 22.8 الطلائية القصبية تظهر الخلايا المهدبة والخلايا الكأسية غير الم هدبة)المجهر الإلكترونى الماسح(. النتوءات الصغيرة على الخلايا الكأسى ة هى الأهداب الدقيقة.

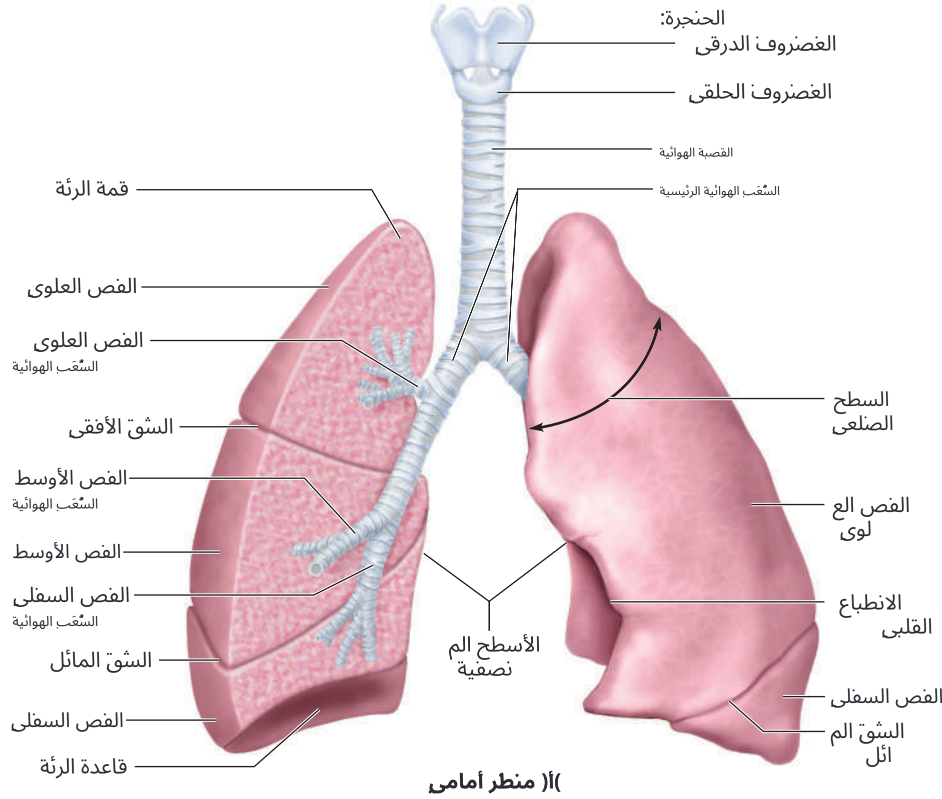
ستيف غشميسنر/مكتبة صور العلوم/مصدر العلوم

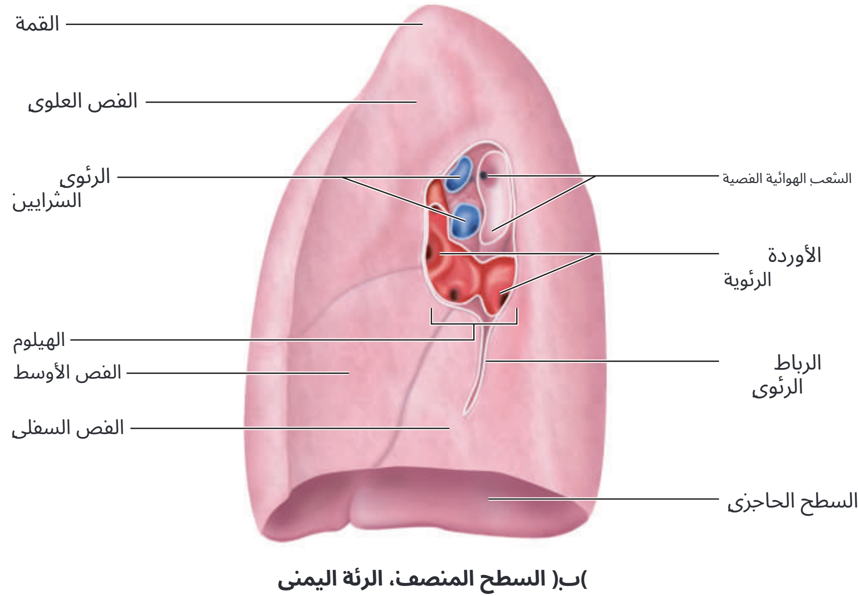
على مستوى زاوية القص، ينتهى القصبة الهوائية عند تفرع يسمى *تفرع القصبة الهوائية*، حيث تنشأ الشعب الهوائية الرئيسية اليمنى واليس رى. الغضروف السفلى للقصبة الهوائية يحتوى على حافة وسطية داخ لية تسمى الكارينا [1]كا-رينا(التى توجه تدفق الهواء إلى اليمنى واليسر ى)الشكل 22.5ب(.

22.1هـ الرئتان والشجرة القصبية

كل رئة هى عضو مخروطى الشكل إلى حد ما مع قاعدة عريضة مقعرة تستند على الحجاب الحاجز وقمة مدببة تسمى القمة تبرز قليلاً فوق الترقوة)الشكل 22.9(. السطح الضلعى العريض مضغوط على القف ص الصدرى، والسطح الوسيط الأصغر والأكثر تقعرًا يواجه نحو الوسط ، باتجاه القلب. يظهر السطح الوسيط شقًا يسمى الهيلوم الذى تمر م ن خلاله الشعب الهوائية الرئيسية، والأوعية الدموية، والأوعية اللمفاو ية، والأعصاب.
تشكل هذه الهياكل جذر الرئة.
تتزاحم الرئتان بسبب الأعضاء المجاورة ولا تملآن القفص الصدرى بأكمله، كما أنهما غير متماثلتين)الشكل 22.10(. أسفل الرئتين والحجاب الحاجز، يشغل جزء كبير من المساحة داخل القفص الصدرى الكبد، والطحال، والمعدة)انظر الشكل B.5 فى الأطلس B(.
الرئة اليمنى أقصر من اليسرى لأن الكبد يرتفع أعلى على الجانب الأيمن. الرئة اليسرى، رغم أنها أطول، إلا أنها أضيق من اليمنى لأن القلب يميل نحو اليسار ويشغل مساحة أكبر على هذا الجانب من المنصف. على السطح الوسيط، للرئة اليسرى انخفاض يسمى الانطباع القلبى حيث

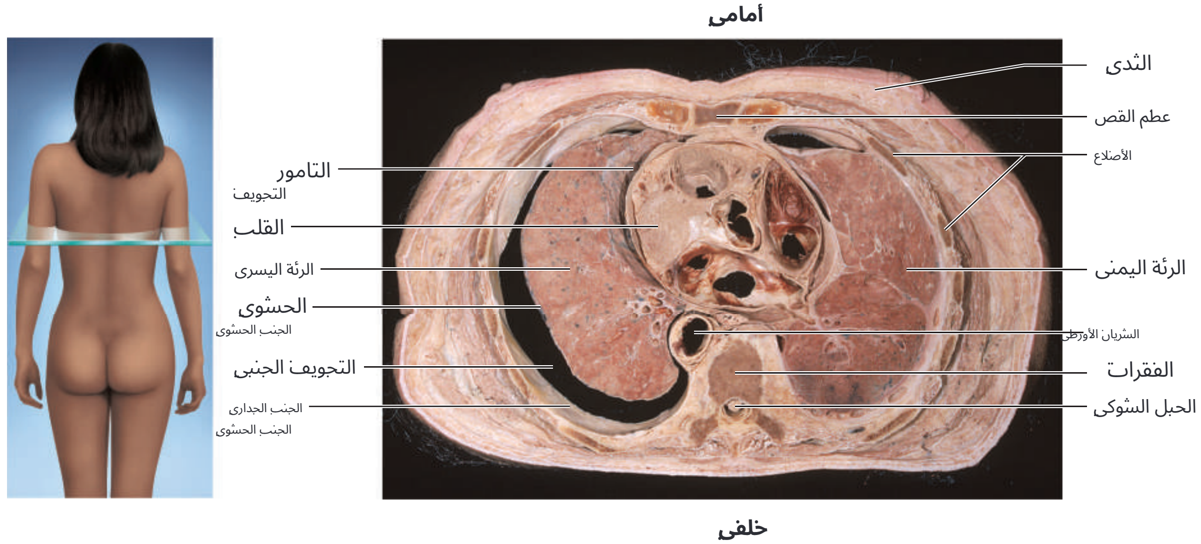
[1] *الكارينا* = العارضة





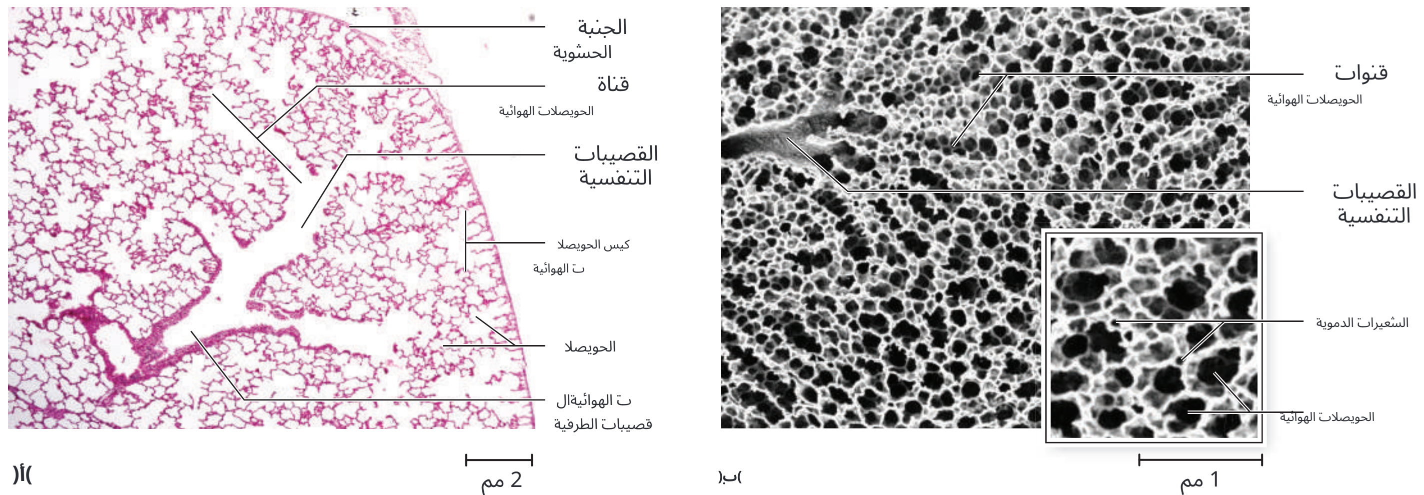
الشكل 22.9 التشريح العام للرئتين.)أ(منظر أمامى، مع مقطع أمامى عبر الرئة اليمنى.)ب(السطح المنصف للرئة اليمنى، APR مُطهرًا الهيلوم.

خارج شجرة الشعب الهوائية، كل سُعَيبَة نهائية تُفرز سُعَيبَات تنفسية أصغر ، والتى تحتوى على الحويصلات الهوائية النابتة من جدرانها. تُعتبر بداية المنطقة التنفسية لأن حويصلاتها تشارك فى تبادل الغازات.
جدرانها تحتوى على عضلات ملساء قليلة، وأصغرها غير مهدبة. كل سُعَيبَة تنفسية تنقسم إلى 2 إلى 10 ممرات رفيعة وطويلة الجدران تُسمى قنوات الحويصلات الهوائية، والتى أيضًا تحتوى على حويصلات هوائية على طول جدرانها. قنوات الحويصلات الهوائية والتقسيمات الأصغر تحتوى على ظهارة حرشفية بسيطة غير مهدبة. تنتهى القنوات فى أكياس الحويصلات الهوائية، وهى مجموعات من الحويصلات الهوائية مرتبة حول مساحة مركزية تُسمى الأذين. الفرق بين قناة الحويصلات الهوائية والأذين هو شكلها—قناة طويلة، أو أذين بطول وعرض متساوى تقريبًا. غالبًا ما يكون الحكم على اعتبار مساحة ما قناة حويصلات هوائية أو أذين أمرًا ذاتيًا.



الشكل 22.10 مقطع عرضى عبر تجويف الصدر. هذه الصورة موجهة بنفس اتجاه جسم القارئ. تجويف الجنبة واضح بشكل خاص حيث انكمش الرئة اليسرى بع
يدًا عن جدار الصدر، ولكن فى الشخص الحى تملأ الرئة هذه المساحة بالكامل، وتضغط الجنبة الجدارية والحشوية معًا، ويكون تجويف الجنبة مجرد مساحة مح
تملة بين الغشاءين، كما هو الحال فى الجانب الأيمن من هذه الصورة.

ريبيكا غراى/دون كينكيد/ماكجرو هيل



الشكل 22.11 علم الأنسجة للرئة.)أ(صورة ضوئية مجهرية.)ب(صورة مجهر إلكترونى ماسح. لاحظ النسيج الإسفنجى للرئة
والتوزيع المروحى لقنوات الحويصلات الهوائية فى الأعلى إلى اليسار. تُظهر الصورة المصغرة فى الزاوية تفاصيل أكبر فى الحويصلات الهوائية
والشعيرات الدموية العديدة المحيطة بكل واحدة منها.

أ: خوسيه لويس كالفو/Shutterstock; ب: دون و. فوسيت/Science Source

الحويصلات الهوائية

تُقدّر الأهمية الوظيفية لتركيب الرئة البشرية بشكل أفضل من خلال ا
لمقارنة مع رئات بعض الحيوانات الأخرى. فى الضفادع والبرمائيات ا
لأخرى، تكون الرئة كيسًا أجوف بسيطًا، مثل بالون منتفخ، مبطنة بالأو
عية الدموية. وهذا يكفى لتلبية احتياجات الأكسجين للحيوانات ذات م
عدلات الأيض المنخفضة. أما الثدييات، بمعدلات الأيض العالية، فلم
يكن من الممكن أن تتطور برئة بسيطة كهذه. بدلاً من أن تتكون من
كيس واحد كبير، فإن كل رئة بشرية هى كتلة إسفنجية تتألف من 480
مليون كيس صغير،

باختصار، مسار تدفق الهواء هو كما يلى. تنتمى الممرات
الأولى
إلى منطقة التوصيل، حيث لا توجد حويصلات هوائية وجدران الأنسجة سميكة جدًا بحيث لا يحدث تبادل
ملحوظ للأكسجين أو ثانى أكسيد الكربون مع الدم:
ال→ القصبة الرئيسية → القصبة الهوائية → البلعوم →تجويف الأنف
القصيبات الطرفى→ القصيبات → القصبة القطاعية→ قصبة الفصية
ة. ثم تبدأ منطقة التنفس، حيث تحتوى جميع الممرات على حويصلات
هوائية على جدرانها)أو هى نفسها حويصلات(وبالتالى تشارك فى تبادل
ا→ الحويصلات → قناة الحويصلات ←الغازات: القصيبات التنفسية
لحويصلة الهوائية.

تتلف الخلايا؛ و2(تفرز *السائل الرئوى* ، وهو مزيج من الفسفوليبيدا ت والبروتينات يغطى الحويصلات الهوائية والقصيبات الهوائية الصغ يرة ويمنع انخماص القصيبات عند الزفير. سيتم شرح وظيفة هذا ال سائل بالتفصيل لاحقًا.

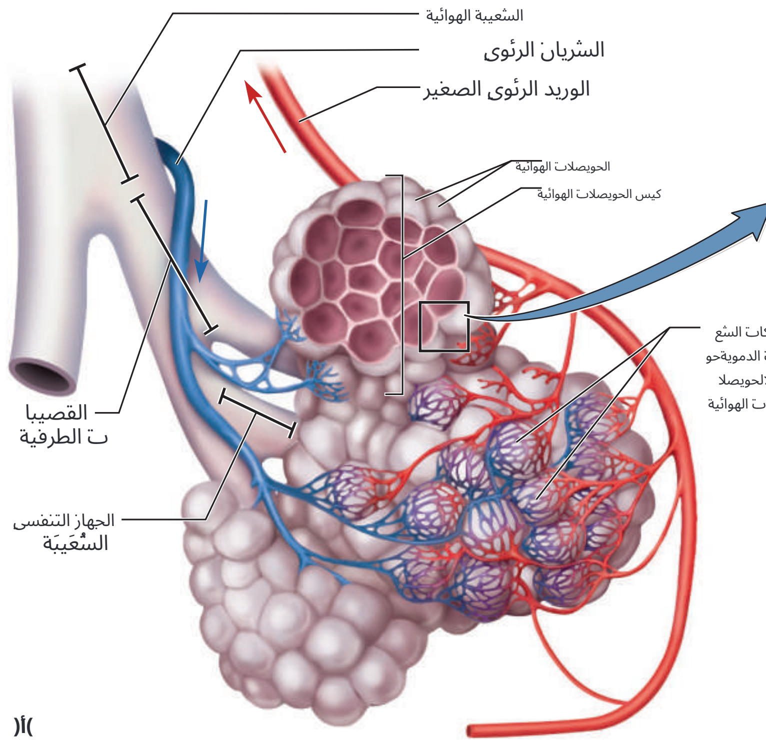
أكثر الخلايا عدداً فى الرئتين هى البلاعم الحويصلية)خلايا الغبار(، التى تتجول فى تجاويف الحويصلات والنسيج الضام بينها. تحافظ ه ذه الخلايا على خلو الحويصلات من الحطام عن طريق ابتلاع جزيئات ا لغبار التى تفلت من احتجاز المخاط فى الأجزاء الأقرب من الجهاز ال تنفسى. فى الرئتين المصابتين أو النازفتين، تقوم البلاعم أيضًا بابتلاع البكتيريا وخلايا الدم الحرة. يموت ما يصل إلى 100 مليون بلاعم حوي صلية يوميًا أثناء صعودها على السلم المخاطى الهدبى ليتم ابتلاعها وه ضمها، مما يخلص الرئتين من حمولتهما من الحطام.

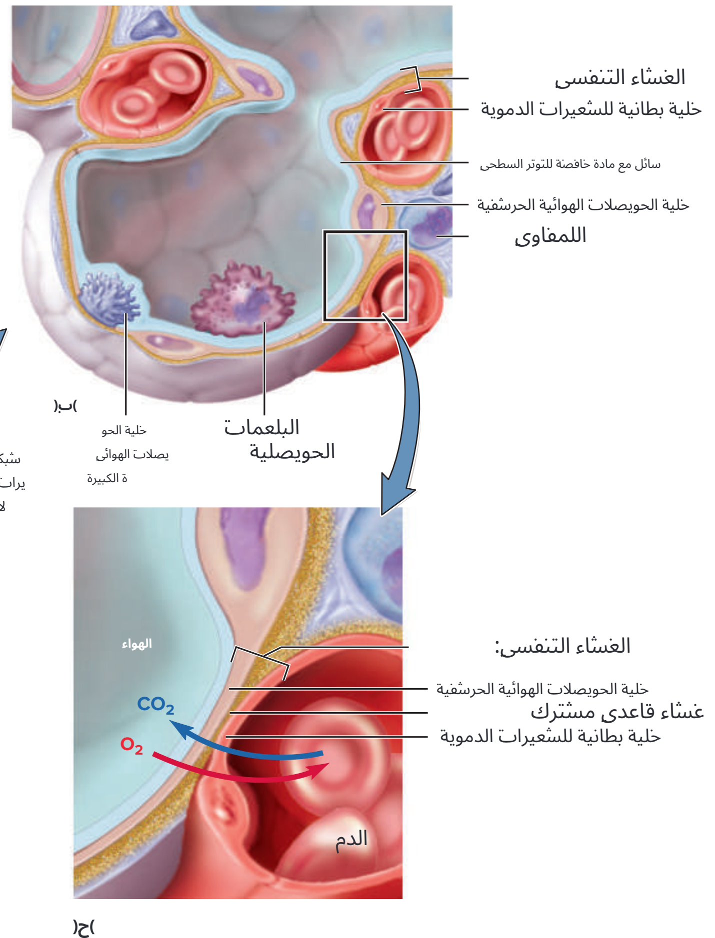
كل حويصلة هوائية محاطة بشبكة من الشعيرات الدموية التى تغذيها فروع صغيرة من الشريان الرئوى. الحاجز بين هواء الحويصلة ا لدموية والدم، المسمى بالغشاء التنفسى، يتكون فقط من الخلية الحو يصلية الحرشفية، والخلية البطانية الحرشفية للشعيرة الدموية، والغ شاء القاعدى المشترك بينهما. يبلغ سمك هذه الطبقات مجتمعة 0.5 ميكرومتر فقط، أى ما يعادل 1/15 قطر كريات الدم الحمراء الواحدة.

الحويصلات الهوائية. توفر هذه حوالى 70 متر مربع من سطح تبادل الغازات لكل رئة — وهو ما يعادل تقريبًا مساحة أرض ملعب كرة اليد الداخلى الأمريكى أو غرفة بمساحة 8.4 متر)25 قدم(مربع.

الحويصلة الهوائية)AL-vee-OH-lus(هى كيس قطره حوالى 0.2 إلى 0.5 ملم)الشكل 22.12(. الحويصلات الهوائية متعددة الأضلاع و شكلها مسطح عند الواجهات التى تلتقى فيها — مثل فقاعات الصا بون المتجمعة، وليس كروية مثل العنب. على عكس فقاعات الصابو ن، تحتوى على مسام فى جدرانها وتتبادل الهواء مباشرة مع بعضها ا لبعض. عند مراقبة نسيج الرئة تحت المجهر أو فى الصور، من المهم أ ن تتذكر أنك ترى نسيجًا ميتًا ومنكمشًا أكثر بسبب المثبتات الهستو لوجية.

تغطى خلايا رقيقة وعريضة تسمى خلايا الحويصلات الهوائية الحرشفية)النوع الأول(حوالى 95% من مساحة سطح الحويصلات الهوائية. تسمح رق تها بالانتشار السريع للغازات بين الهواء والدم. أما الـ 5% المتبقية فتغطيها خ لايا الحويصلات الهوائية الكبيرة)النوع الثانى(المستديرة إلى مكعبة الشكل. تغطى خلايا الحويصلات الهوائية الحرشفية مساحة سطحية أكبر بكثير لأنها رقيقة جدًا ومنتشرة، على الرغم من أنها أقل عددًا بكثير مقارنة بخلايا الحويصلات الهوائية الكبيرة. إذا تخيلت كرة من العجين تمثل خ لية الحويصلات الهوائية الكبيرة، فإن نفس كمية العجين إذا تم فردها إلى طبقة رقيقة مثل قشرة البيتزا ستكون مماثلة لخلية الحويصلات ا لهوائية الحرشفية. لخلايا الحويصلات الهوائية الكبيرة وظيفتان:)1(ت قوم بإصلاح طهارة الحويصلات الهوائية عندما تتلف الخلايا الحرشفية





الشكل 22.12 الحويصلات الرئوية.)أ(تجمعات الحويصلات وإمدادها الدموى.)ب(تركيب الحويصلة.)ح(تركيب الغشاء التنفسى.

22.1ح الجنبات

الغشاء المصلي، الجنبة)بْلُور-أه(، يبطن جدار الصدر ويشكل سطح الر ئة. له طبقتان، الحشوية والجدارية. الجنبة الحشوية تشكل سطح الر ئة وتمتد حتى إلى الشقوق بين الفصوص. عند الهيلوم، تنعطف على نفسها وتشكل الجنبة الجدارية التي تلتصق بالمنصف، والسطح الدا خلي لقفص الصدر، والسطح العلوي للحجاب الحاجز)انظر الشكل 22. 10(. امتداد للجنبة الجدارية، *الرباط الرئوي* يربطها بالحجاب الحاجز.

المساحة بين الجنبة الجدارية والحشوية تسمى التجويف الجنبي. التجويف الجنبي لا *يحتوي* على الرئة؛ بل يلتف حول الرئة، تمامًا كما يلتف التامور حول القلب. يحتوي التجويف الجنبي على طبقة رقيقة فقط من السائل الجنبي المزلق؛ التجويف هو فقط مساحة محتملة، مما يعني أنه لا يوجد عادة فراغ بين الأغشية. ومع ذلك، في الحالات ا لمرضية مثل جروح الصدر أو تسرب السوائل إلى المساحة *)الانصبا ب الجنبي(*، يمكن أن يمتلئ التجويف الجنبي بالهواء أو السائل، كما سيناقش لاحقًا في هذا الفصل.

للجنبات والسائل الجنبي ثلاث وظائف:

1. تقليل الاحتكاك. يعمل السائل الجنبي كمواد ترليق تمكّن الرئ تين من التوسع والانقباض بأقل احتكاك ممكن. يمكن أن يس بب التهاب الجنبات حالة تسمى التهاب الجنبة، حيث تصبح ا لجنبات خشنة وتحتك ببعضها البعض، مما يجعل كل نفس مؤلمًا.
2. إنشاء تدرج ضغط. تلعب الجنبات دورًا، سيتم شرحه لاحقًا، في إنشاء تدرج ضغط يوسع الرئتين عند الشهيق.
3. التقسيم. الجنبات، المنصف، والتامور تقسم أعضاء الصدر و تمنع انتشار العدوى من عضو إلىالأعضاء المجاورة بسهولة .

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

1. تم استنشاق جسيم غبار ودخل إلى الحويصلة الهوائية دون أن يُحتج ز في الطريق. صف المسار الذي يسلكه، مع تسمية جميع ممرا ت الهواء من الفتحة الأنفية الخارجية إلى الحويصلة الهوائية. ماذا سيحدث له بعد وصوله إلى الحويصلة الهوائية؟
2. صف علم الأنسجة للظهارة والطبقة الخاصة)lamina propria(ف ي تجويف الأنف ووظائف أنواع الخلايا الموجودة.
3. اشعر بعظمتين من غضاريف الحنجرة لديك وسمّهما. اذكر الأجزاء التي لا يمكن جسها على شخص حي.
4. وصف أدوار العضلات الداخلية، والغضاريف القرنية والغضاريف الأرينية في الكلام.
5. قارن بين ظهارة القصيبات الهوائية وظهارة الحويصلات الهوائية و شرح كيف يرتبط الاختلاف البنيوي بالاختلاف الوظيفي.
6. اشرح لماذا من الخطأ القول، كما تفعل بعض المصادر، أن الرئتين م حصورتان في تجاويف الجنبة.

22.1f الدورة الدموية الرئوية

تم تفصيل الدورة الدموية إلى الرئتين في القسمين 20.6)الدورة الرئو ية(و20.7d)الشرايين القصبية الجهازية(، لذا سيتم استعراضها هنا بشكل موجز فقط كخلفية ضرورية لدراسة فسيولوجيا الرئة. هذان الإم دادان الدمويان— الرئوي والجهازي— يخدمان أغراضًا مختلفة.

تبدأ الدورة الرئوية بالجذع الرئوي الناشئ من البطين الأيمن للقل ب. بعد صعود قصير، ينقسم الجذع إلى الشرايين الرئوية اليمنى والي سرى، والتي تنقسم بدورها إلى فروع رئيسية)شرايين الفصوص(ال تي تزود الفصوص الثلاثة للرئة اليمنى والفصين للرئة اليسرى)انظر ال شكل 20.24(. داخل الرئة، تسير الفروع الدقيقة لهذه الشرايين جنبًا إلى جنب مع الشعب الهوائية، لتنتهي بتشكيل شبكة من الشعيرات الدموية في جدار كل حويصلة. تخدم هذه الدورة فقط لتفريغ ثاني أكسيد الكربون CO2 الذي جمعته من أنحاء الجسم ليتم زفيره من الرئتين، ولتجميع كمية جديدة من الأكسجين من الهواء المستنشق. يعود هذا الدم المؤكسج إلى القلب عبر الأوردة الرئوية.

تتلقى الرئتان أيضًا إمدادًا دمويًا جهازياً من الشرايين القصبية ال تي تنشأ من الشريان الأورطي الصدري. تحمل هذه الدم المؤكسج حد يثًا إلى الرئتين لتغذية نسيج الرئة نفسه—وخاصة الجنبة، الشعب الهو ائية، القصيبات، والأوعية الدموية الرئوية الأكبر. ولا تصل إلى الحويص لات. الأوردة القصبية تصرف هذا الدم من الرئتين إلى الوريد الأزغو سي في الصدر.

معظم الدم الرئوي الذي يغادر الحويصلات الهوائية جيدة التهوية يكون مشبعًا بالأكسجين بنسبة 100%. ومع ذلك، تتشابك الأوردة الر ئوية الصغيرة مع الأوردة القصبية على طول الطريق وتختلط تيارات د مها إلى حد ما. يدخل جزء كبير من الدم الوريدي القصبي إلى الأوردة ا لرئوية — وهو ما يُسمى بالتحويلة من اليمين إلى اليسار، لأن هذا الدم كان من المفترض أن يتدفق إلى الأذين الأيمن للقلب، لكنه يُحوّل إل ى الجانب الأيسر. وبالتالي، يتم تخفيف الأكسجين في الأوردة الرئوية قليلاً بواسطة دم الأوردة القصبية، ويصبح الدم أقل تشبعًا بالأكسجين قليلاً بحلول الوقت الذي يغادر فيه الرئتين. سبب آخر لهذا المستوى ا لمنخفض من الأكسجين هو أن بعض الدم في الدورة الدموية الرئوية قد مر عبر الحويصلات المنهارة وغير المهواة التي لم يكن بها أكسجين لتقدمه. ولهذين السببين، عادةً ما تظهر قياسات تشبع الأكسجين في الدم الشرياني باستخدام مقياس التأكسج النبضي على طرف الإصبع قيمًا في نطاق 98% إلى 99%، وليس 100%.

من الضروري منع تراكم السوائل في الحويصلات الهوائية، لأن الغازا ت تنتشر ببطء شديد عبر السائل بحيث لا تكفي لتهوية الدم بشكل كافٍ . باستثناء طبقة رقيقة من الرطوبة على جدار الحويصلة الهوائية، تُحافظ الحويصلات الهوائية على جفافها من خلال امتصاص فائض الماء بواس طة الشعيرات الدموية الدموية. متوسط ضغط الدم في هذه الشعيرات ا لدموية هو فقط 10 ملم زئبق مقارنة بـ 30 ملم زئبق في الطرف الشريان ي للشعيرة الدموية العادية في أماكن أخرى. هذا الضغط الدموي المنخ فض يتغلب عليه بشكل كبير الضغط الأسموزي الذي يحتفظ بالسائل دا خل الشعيرات الدموية)انظر مبادئ تبادل السوائل في الشعيرات الدمو ية في القسم 20.3(، لذا فإن الامتصاص الأسموزي للماء يتفوق على ال ترشيح ويحافظ على الحويصلات الهوائية خالية من فائض السوائل. كما أن ضغط الدم المنخفض في الشعيرات الدموية يمنع تمزق الغشاء التن فسي الرقيق. كما تمتلك الرئتان تصريفًا لمفاويًا أكثر توسعًا من أي ع ضو آخر في الجسم، مما يساعد أيضًا على منع تراكم السوائل.

22.2 التهوية الرئوية

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. تسمية عضلات التنفس ووصف أدوارها
في التنفس؛

ب. وصف مراكز جذع الدماغ التي تتحكم في التنفس و
المدخلات التي تتلقاها من مستويات أخرى من الجهاز العصبي؛

ج. شرح كيف تفسر تدرجات الضغط تدفق
الهواء إلى داخل وخارج الرئتين، وكيفية

تكوين هذه التدرجات؛

د. تحديد مصادر المقاومة لتدفق الهواء ومناقشة
أهميتها بالنسبة للتنفس؛

هـ. اشرح أهمية الفراغ التشريحي الميت للتهوية السنخية؛

و. حدد القياسات السريرية لحجم الرئة وسعتها؛ و

ز. حدد المصطلحات الخاصة بالانحرافات المختلفة عن نمط ا
لتنفس الطبيعي.

مع الخلفية التشريحية السابقة، هدفنا التالي هو فهم كيفية تهوية الرئ
تين. التنفس، أو التهوية الرئوية، يتكون من دورة متكررة من الشهيق
)استنشاق(و الزفير)زفير(. التنفس الكامل، دخولاً وخروجاً، يسمى د
ورة التنفس.

يجب أن نميز أحيانًا بين التنفس الهادئ والتنفس القسري. التن
فس الهادئ يشير إلى التنفس المسترخي، اللاواعي، التلقائي، كما ى
تنفس الإنسان عند قراءة كتاب أو الاستماع إلى محاضرة دون التفكير
في التنفس. التنفس القسري يعني التنفس العميق أو السريع بشك
ل غير عادي، كما في حالة التمرين أو عند الغناء، أو العزف على آلة نفخ
، أو نفخ بالون، أو السعال، أو العطس.

الرئتان لا تقومان بالتهوية بنفسهما. العضلة الوحيدة التي تحتويها
هي العضلة الملساء في جدران الشعب الهوائية والشعيبات الهوائية.
هذه العضلة تضبط قطر مجرى الهواء وتؤثر على سرعة تدفق الهواء،
لكنها لا تخلق تدفق الهواء. هذه الوظيفة تعود إلى عضلات الهيكل الع
ظمي للجذع.

الهواء، مثل السوائل الأخرى، يتدفق من منطقة ذات ضغط أعلى
إلى منطقة ذات ضغط أقل. تذكر تشبيه المحقنة)انظر الشكل 19.18
(، حيث رأينا كيف أن زيادة حجم الفراغ تقلل الضغط وتؤدي إلى تدفق
السائل إلى الداخل. عمل عضلات التنفس يشبه إلى حد كبير عمل م
كبس المحقنة — في لحظة ما، تزيد من حجم التجويف الصدري وتخ
فض الضغط، فيتدفق الهواء إلى الداخل؛ وفي اللحظة التالية، تقلل ح
جم التجويف الصدري وترفع الضغط، فيتدفق الهواء إلى الخارج. سنقو
م بعد ذلك بفحص هذه الحركات العضلية، وكيف يتحكم الجهاز العص
بي بها، وكيف تؤثر متغيرات الضغط والمقاومة على تدفق الهواء وال
تهوية الرئوية.

22.2أ عضلات التنفس

العضلات الرئيسية للتنفس هي الحجاب الحاجز وعضلات بين الأضلاع
)الشكل 22.13(. الحجاب الحاجز هو المحرك الأساسي)انظر

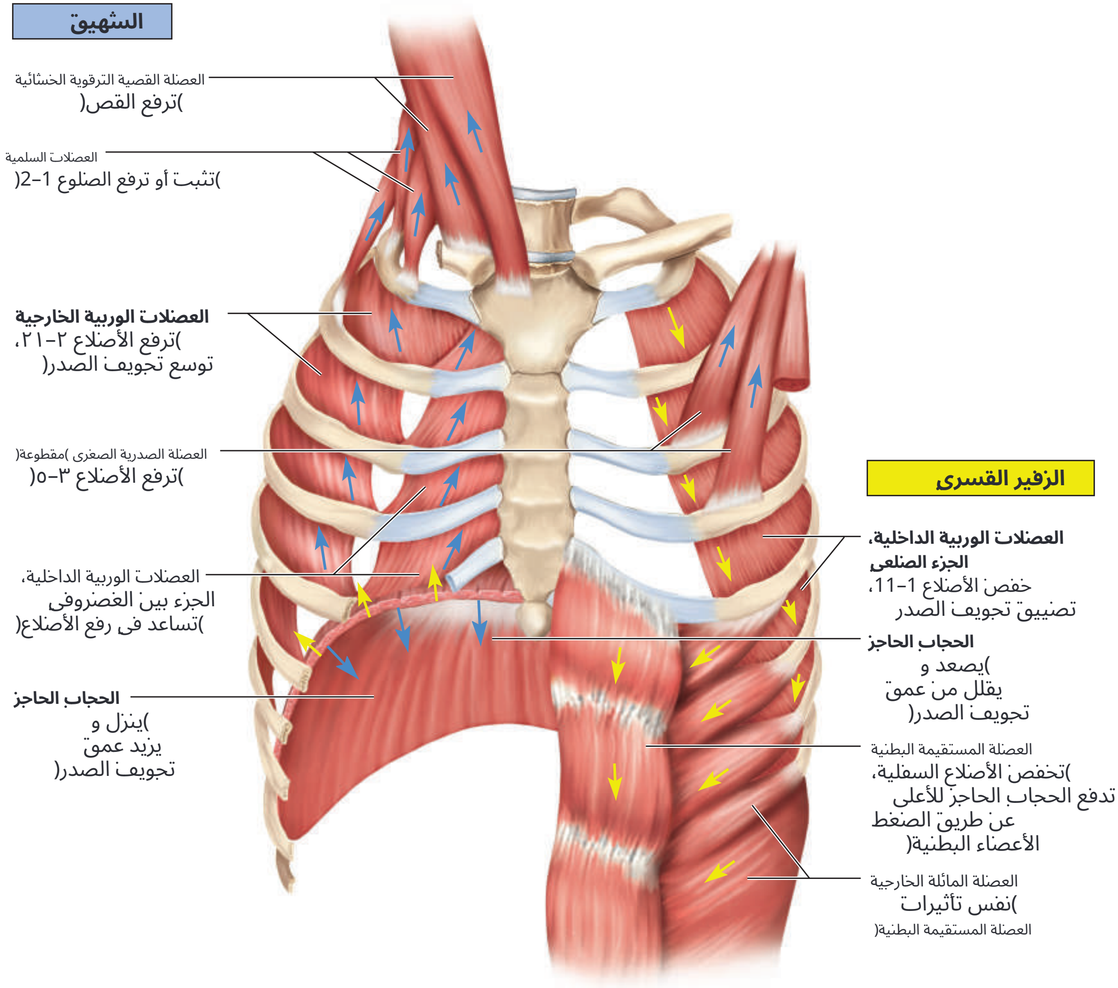
الجدول 10.4(؛ فهو وحده ينتج حوالي ثلثي تدفق الهواء الرئوي. عندما
يكون مسترخيًا، ينتفخ الحجاب الحاجز إلى الأعلى إلى أقصى حد له،
ضاغطًا على قاعدة الرئتين. تكون الرئتان في أدنى حجم لهما. عندما ي
نقبض الحجاب الحاجز، يشد نفسه ويصبح مسطحًا إلى حد ما، وينخ
فض حوالي 1.5 سم في الشهيق المسترخي وحتى 12 سم في التنف
س العميق. لا يقتصر تأثير نزوله على توسيع البعد من الأعلى إلى الأ
سفل لقفص الصدر، بل إن تسطيحه يدفع أيضًا إلى الخارج على عظم
ة القص والأضلاع ويوسع البعد من الأمام إلى الخلف. توسيع تجويف ا
لصدر يخفض الضغط الداخلي له وينتج تدفقًا للهواء. عندما يسترخي ا
لحجاب الحاجز، ينتفخ مرة أخرى إلى الأعلى، يضغط على الرئتين، ويط
رد الهواء.

تساعد عدة عضلات أخرى الحجاب الحاجز كعضلات متآزرة. من أ
همها عضلات بين الأضلاع الداخلية والخارجية بين الأضلاع. وظيفتها ا
لأساسية هي تقوية قفص الصدر أثناء التنفس ومنع انهياره عندما ينخ
فض الحجاب الحاجز. ومع ذلك، فهي تساهم أيضًا في توسيع وانقبا
ض قفص الصدر وتضيف حوالي ثلث الهواء الذي يهوي الرئتين. أثناء
التنفس الهادئ، تثبت عضلات السكالين في الرقبة الضلعين الأول و
الثاني)تحافظ عليهما ثابتين(، بينما تسحب عضلات بين الأضلاع الخا
رجية الأضلاع الأخرى إلى الأعلى. وبما أن معظم الأضلاع مثبتة من الط
رفين — من خلال ارتباطها بالعمود الفقري في الطرف القريب)الخل
في(وارتباطها عبر الغضروف الضلعي بعظمة القص في الطرف البعيد
)الأمامي(— فإنها تتأرجح إلى الأعلى مثل مقابض الدلو وتدفع عظمة
القص إلى الأمام. هذه الحركات تزيد من القطر العرضي)من اليسار إ
لى اليمين(والقطر الأمامي الخلفي للصدر. في التنفس العميق، يمكن
أن يزيد البعد الأمامي الخلفي بنسبة تصل إلى 20% مع انتفاخ الصدر
.

تساعد عضلات أخرى في الصدر والبطن أيضًا في التنفس، خاص
ة أثناء التنفس القسري؛ لذلك تُعتبر عضلات مساعدة للتنفس. يُساع
د الشهيق العميق عضلات المستقيمة الظهرية، التي تقوس الظهر و
تزيد من قطر الصدر، وعدة عضلات ترفع الأضلاع العليا: عضلات الق
صية الترقوية الخشائية والسكالين في الرقبة؛ والعضلة الصدرية الصغ
رى، والعضلة الصدرية الكبرى، والعضلة المنشارية الأمامية، والعضلة
المنشارية الخلفية العلوية في الصدر؛ و *الجزء بين الغضاريف* من ع
ضلات بين الأضلاع الداخلية)الجزء الأمامي بين الغضاريف الضلعية(.
على الرغم من أن عضلات السكالين تثبت الأضلاع العليا فقط أثناء ال
تنفس الهادئ، إلا أنها ترفعها أثناء الشهيق القسري.

الزفير الطبيعي هو عملية سلبية موفرة للطاقة تتحقق بفضل مرو
نة الرئتين وقفص الصدر. يتراجع الشجرة القصبية، وارتباطات الأضلاع
بالعمود الفقري وعظمة القص، وأوتار الحجاب الحاجز والعضلات الت
نفسية الأخرى عندما تسترخي العضلات. هذا يقلل من حجم قفص ال
صدر، ويرتفع ضغط الهواء في الرئتين فوق الضغط الجوي الخارجي، و
يتدفق الهواء إلى الخارج. الجهد العضلي الوحيد في الزفير الطبيعي هو
عمل فرملة — أي أن العضلات تسترخي تدريجيًا بدلاً من فجأة، مما
يمنع الرئتين من التراجع بسرعة كبيرة. هذا يجعل الانتقال من الشهيق
إلى الزفير أكثر سلاسة.

في الزفير القسري، تسحب العضلة المستقيمة البطنية عظمة ال
قص والأضلاع السفلية إلى الأسفل، بينما يسحب *الجزء بين العظام*
من عضلات بين الأضلاع الداخلية)الجزء الجانبي بين الأضلاع الحقيق
ة(والعضلة المنشارية الخلفية السفلية الأضلاع الأخرى إلى الأسفل.
تقلل هذه الحركات من أبعاد الصدر وتطرد الهواء بسرعة وكفاءة أكبر م
ن المعتاد. تساهم عضلات أخرى في أسفل الظهر والبطن وحتى الحو
ض في الزفير القسري عن طريق رفع الضغط في



الشكل 22.13 عضلات الجهاز التنفسى. الخط العريض يشير إلى العضلات التنفسية الرئيسية؛ أما الأخرى فهى عضلات مساعدة. تشير الأسهم إلى اتجاه عمل ا لعضلات. العضلات المدرجة على اليسار نشطة أثناء الشهيق وتلك الموجودة على اليمين نشطة أثناء الزفير القسرى. لاحظ أن الحجاب الحاجز نشط فى كلا المرحلتين، وأن أجزاء مختلفة من العضلات الوربية الداخلية تخدم الشهيق والزفير. بعض العضلات المساعدة الأخرى غير المعروضة هنا نوقشت فى النص.

تعتمد عملية التنفس بدلاً من ذلك على المحفزات المتكررة من الدما غ. تتوقف إذا تم قطع الأعصاب التى تغذى عضلات الصدر أو إذا تم ق طع الحبل الشوكى فى أعلى الرقبة. هناك سببان لهذا الاعتماد على الد ماغ:)1(العضلات الهيكلية، على عكس عضلة القلب، لا يمكنها الانق باض بدون تحفيز عصبى.)2(التنفس يتطلب تنسيقًا محكمًا لعمل ع دة عضلات، وبالتالى يحتاج إلى آلية تنسيق مركزية.

يتم التحكم فى التنفس على مستويين فى الدماغ. الأول هو دماغ ى وواعى، يتيح لنا الشهيق أو الزفير بإرادتنا. أما الآخر فهو لا واع وتلقا ئى. فى معظم الأوقات، نتنفس دون التفكير فى ذلك—ولحسن الحظ ، لأنه لولا ذلك لما استطعنا النوم خوفًا من توقف التنفس)انظر التعم ق 22.2(.

مراكز التنفس فى جذع الدماغ

يتم التحكم فى دورة التنفس التلقائية واللاواعية بواسطة ثلاثة أزواج م ن مراكز التنفس فى التكوين الشبكى للنخاع المستطيل والجسر)ال شكل 22.14(. يوجد واحد فى كل من الجانبين الأيمن والأيسر من جذ ع الدماغ؛ ويتواصل الجانبان

تجويف البطن ودفع بعض الأحشاء، مثل المعدة والكبد، إلى الأعلى ضد الحجاب الحاجز. هذا يزيد من ضغط الصدر ويساعد على طرد الهو اء. يُعتبر هذا "التنفس البطنى" مهمًا بشكل خاص فى الغناء والتحدث أمام الجمهور.

لا يؤثر ضغط البطن فقط على ضغط الصدر، بل العكس صحيح أ يضًا. رفع الحجاب الحاجز يزيد من ضغط البطن ويساعد على طرد مح تويات بعض الأعضاء البطنية، مما يساعد فى الولادة والتبول والتغوط والقيء.

أثناء مثل هذه الأفعال، غالبًا ما نستخدم بوعى أو بدون وعى مناورة فا لسالفا 12. تتكون هذه المناورة من أخذ نفس عميق، وحبسه عن طر يق إغلاق الحنجرة، ثم شد عضلات البطن لزيادة ضغط البطن ودفع م حتويات الأعضاء إلى الخارج.

22.2ب التحكم العصبى فى التنفس

نبض القلب والتنفس هما أكثر العمليات إيقاعًا وضوحًا فى الجسم. لقد رأينا أن القل ب يحتوى على منظم ضربات داخلى، لكن الرئتين لا تحتويان على ذلك. لم يتم العثور على خلايا منظم ضربات ذاتية الإيقاع للتنفس مماثلة لتلك الموجودة فى القلب.

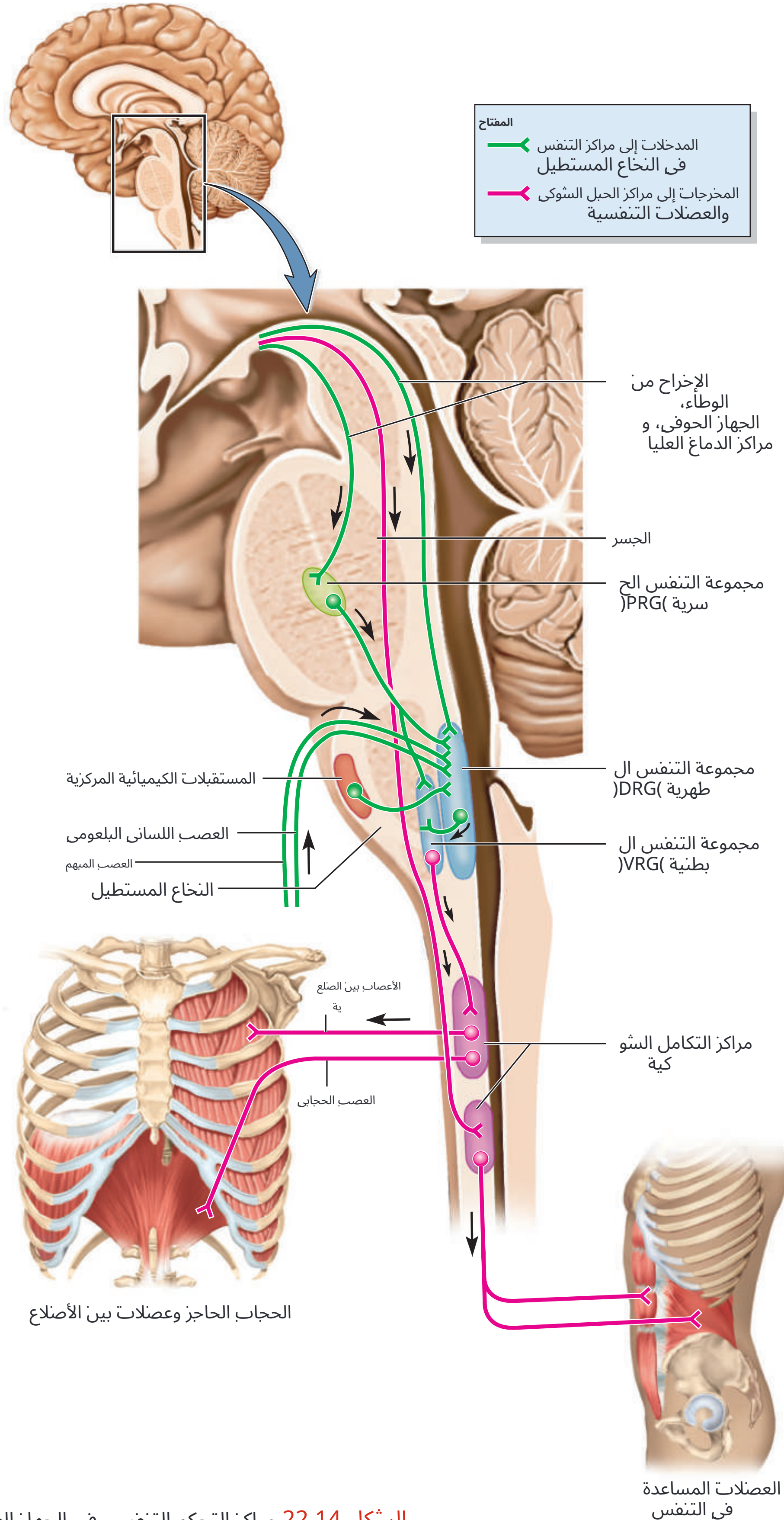
[12] أنطونيو ماريا فالسالفا)1666-1723(، عالم التشريح الإيطالى

مع بعضهم البعض بحيث تنقبض عضلات الجهاز التنفسى
بشكل متماثل.

مجموعة الجهاز التنفسى البطنى)VRG(هى المولد الأساسى لإيقاع التنفس. إنها شبكة عصبية ممدودة فى النخاع المستطيل تحتوى على شبكتين متداخلتين من الخلايا العصبية — خلايا عصبية شهيقية)I(وخلايا عصبية زفيرية)E(— كل منهما يشكل دائرة عصبية مترددة)انظر الشكل 12.32(. فى التنفس الهادئ)المسمى التنفس الطبيعى أو eupnea(، تنشط دائرة الخلايا العصبية الشهيقية لمدة حوالى ثانيتين فى كل مرة، مطلقة إشارات إلى مراكز التكامل فى الحبل الشوكى. تقوم المراكز الشوكية بإرسال الإشارات عبر الأعصاب الحجابيّة إلى الحجاب الحاجز وعبر الأعصاب بين الأضلاع إلى عضلات بين الأضلاع الخارجية. يؤدى انقباض هذه العضلات إلى توسيع القفص الصدرى ويسبب الشهيق. طالما أن خلايا العصبية الشهيقية تنشط، فإنها تثبط أيضًا خلايا العصبية الزفيرية. ومع ذلك، فى نهاية المطاف، تتوقف خلايا العصبية الشهيقية عن النشاط، إما بسبب التعب أو بسبب تثبيطها بواسطة إشارات من مصدر خارجى. مع تراجع نشاطها، تبدأ خلايا العصبية الزفيرية فى النشاط. تقوم هذه الخلايا بمزيد من تثبيط خلايا العصبية الشهيقية، مما يسمح لعضلات الشهيق بالاسترخاء. يؤدى الارتداد المرن للقفص الصدرى إلى طرد الهواء من الرئتين.

يستمر الزفير المسترخى عادةً حوالى ٣ ثوانٍ. ثم تنخفض نشاط العصبون E، وتستأنف العصبونات I إطلاق النبضات، وتتكرر الدورة نفسها. فى التنفس الطبيعى)eupnea(، ينتج هذا النمط المتذبذب للنشاط العصبى، بالتناوب بين دوائر العصبون I والعصبون E، إيقاعًا تنفسيًا يبلغ حوالى 12 نفسًا فى الدقيقة.

2. مجموعة التنفس الظهرية)DRG(هى واحدة من الآليات التى تعدل هذا الإيقاع التنفسى الأساسى. إنها شبكة من الخلايا العصبية تمتد على طول جزء كبير من النخاع المستطيل بين مجموعة التنفس البطنية)VRG(والقناة المركزية لجذع الدماغ. من الواضح أننا لا نتنفس دائمًا بنفس المعدل. يمكن أن يكون التنفس أسرع أو أبطأ، أضيق أو أعمق، حيث تقوم مجموعة التنفس الظهرية)DRG(وآليات أخرى بذلك.



الشكل 22.14 مراكز التحكم التنفسى فى الجهاز العصبى المركزى. انظر النص لشرح هذه المراكز ومسارات التحكم.

بسرعة أكبر من إنتاجه. مع انخفاض مستويات CO_2 فى الدم، يرتفع الر
قم الهيدروجينى pH ويتسبب فى تضيق الشرايين الدماغية. هذا يقل
ل من التروية الدموية للدماغ وقد يسبب الدوار أو الإغماء. يمكن السي
طرة على فرط التنفس عن طريق جعل الشخص يعيد تنفس CO_2 الز
فير من كيس ورقى يُمسك فوق الأنف والفم.

توفر مستقبلات حسية متعددة أيضًا معلومات إلى مراكز التنفس
:

- المستقبلات الكيميائية المركزية هى خلايا عصبية فى جذع الدما
 غ تستجيب بشكل خاص لتغيرات الرقم الهيدروجينى pH لسائل الدماغ ا
لشوكى. وهى مركزة على كل جانب من النخاع المستطيل على نقطة
تبعد 0.2 مم فقط تحت سطحه الأمامى. يعكس الرقم الهيدروجينى ل
سائل الدماغ الشوكى مستوى CO_2 فى الدم، لذا من خلال تنظيم التنفس
للحفاظ على استقرار الرقم الهيدروجينى لسائل الدماغ الشوكى، تضمن م
راكز التنفس أيضًا استقرار مستوى CO_2 فى الدم.
- المستقبلات الكيميائية الطرفية تقع فى أجسام الشريان السبات
ى والأبهر فى الشرايين الكبيرة فوق القلب (الشكل 22.15). تـ
ستجيب لمحتوى O_2 و CO_2 فى الدم، ولكن بشكل أكبر للرقم اله
يدروجينى pH. تتواصل أجسام الشريان السباتى مع جذع الدما
غ عبر الأعصاب البلعومية اللسانية، وأجسام الأبهر عبر

ليف عصبى حسى
فى العصب اللسانى البلعومى
العصب
الجسم السباتى
الألياف العصبية الحسية
فى أعصاب العصب المبهم
الشريان السباتى المشترك
الأجسام الأبهرية
الشريان الأورطى
القلب

الشكل 22.15 المستقبلات الكيميائية الطرفية للتنفس.
تراقب المستقبلات الكيميائية الطرفية فى قوس الأبهر وأجسام الشريان ا
لسباتى تركيزات الغازات فى الدم ودرجة حموضة الدم. ترسل إشارا
ت حول كيمياء الدم إلى مجموعة التنفس الظهرية فى النخاع المستطيل
عبر الألياف الحسية فى أعصاب العصب المبهم والعصب اللسانى البلع
ومى.

نظرة أعمق 22.2
تطبيق سريرى

لعنة أونداين

فى الأسطورة الألمانية، كانت هناك حورية ماء تُدعى أونداين (Ondine) التى أحبّ
ت عاشقًا فانيًا. عندما خانها عاشقها، وضع ملك الحور لعنة عليه أزالت عنه الوظا
ئف الفسيولوجية التلقائية.
وبالتالى، كان عليه أن يتذكر أن يأخذ كل نفس، ولم يكن يستطيع النوم وإلا مات اخ
تناقًا — وهو ما كان مصيره بالفعل عندما غلبه التعب.

يعانى بعض الأشخاص من اضطراب يُسمى "لعنة أونداين" (Ondine's curse
)، حيث تُعطل الوظائف التنفسية التلقائية. يمكن أن ينتج هذا عن إصابة دماغية ر
ضحية؛ أو تلف جذع الدماغ بسبب السكتة الدماغية، أو العدوى، أو الأورام، وأسبا
ب أخرى؛ أو حوادث جراحة الأعصاب؛ أو طفرة فى جين يرمز لمستقبلات كيميائية
فى النخاع المستطيل تُضعف الاستجابة لتراكم ثانى أكسيد الكربون (CO_2). يجب
على ضحايا لعنة أونداين أن يتذكروا أخذ كل نفس، ولا يمكنهم النوم دون مساعدة
جهاز التنفس الصناعى. بعض الحالات ثبت أنها قابلة للعكس، لكن العديد من الأ
شخاص لا يعيشون طويلاً مع هذه الحالة.

تعديل نشاط مجموعة التنفس البطنية (VRG). مجموعة التنفس ال
ظهرية (DRG) هى مركز تكامليتلقى مدخلات من عدة مصادر سيتم
تفصيلها فى المناقشة القادمة: مركز تنفسى فى الجسر (مجموعة التن
فس الجسرية PNG التى ستُناقش لاحقًا)؛ مركز حساس كيميائى فى الجز
ء الأمامى من النخاع المستطيل؛ مستقبلات كيميائية فى بعض الشرايين
الرئيسية؛ مستقبلات التمدد والتهيج فى مجرى الهواء؛ ومراكز الدماغ الع
ليا التى تسمح بالتأثيرات العاطفية على التنفس. تصدر مجموعة التنف
س الظهرية (DRG) مخرجات إلى مجموعة التنفس البطنية (VRG) ال
تى تعدل إيقاع التنفس للتكيف مع الظروف المتغيرة.

3. مجموعة التنفس الجسرية (PRG) على كل جانب من الجسر
تتلقى مدخلات من مراكز الدماغ العليا بما فى ذلكالوطاء، الجها
ز الحوفى، وقشرة الدماغ، وتصدر مخرجات إلى كل من مجموعة ا
لتنفس الظهرية (DRG) ومجموعة التنفس البطنية (VRG). من خ
لال التأثير على تلك المراكز فى النخاع المستطيل، تُسرع أو تؤخر ا
لانتقال من الشهيق إلى الزفير، مما يجعل كل نفس أقصر وأس
طح، أو أطول وأعمق. تتكيف مجموعة التنفس الجسرية (PRG) م
ع الظروف الخاصة مثل النوم، والتمرين، والنطق، والاستجابات العا
طفية (على سبيل المثال، فى البكاء، اللهاث، أو الضحك).

▶▶▶ طَبِّق ما تعرفه

يشير بعض الكتّاب إلى إيقاع التنفس بوصفه وظيفة ذاتية التحك
م. ناقش ما إذا كنت تعتقد أن هذه الكلمة مناسبة لوصفه. ما هى
المؤثرات فى الجهاز العصبى الذاتى؟ (انظر الفصل 15.) ما هى ا
لمؤثرات التى تقوم بتهوية الرئتين؟ ما العلاقة التى قد يكون لها ه
ذا على السؤال؟

الإدخال المركزى والطرفى إلى مراكز التنفس

تتغير إيقاعات التنفس لأن مراكز التنفس فى النخاع المستطيل والج
سر تستقبل مدخلات من عدة مستويات أخرى فى الجهاز العصبى، و
بالتالى تستجيب للاحتياجات الفسيولوجية المتغيرة للجسم. على س
بيل المثال، يمكن للقلق أن يثير نوبة من *فرط التنفس* غير القابل لل
سيطرة عند بعض الأشخاص، وهى حالة يكون فيها التنفس سريعًا جدً
ا بحيث يطرد ثانى أكسيد الكربون CO_2 من الجسم

قوانين الغازات فى فسيولوجيا التنفس	الجدول 22.1
ضغط كمية معينة من الغاز يتناسب عكسيًا مع حجمه)مع افتراض ثبات درجة الحرارة(.	قانون بويل [14]
حجم كمية معينة من الغاز يتناسب طرديًا مع درجة حرار ته المطلقة)مع افتراض ثبات الضغط(.	قانون تشارلز [15]
الضغط الكلى لمزيج غازى يساوى مجموع الضغوط الج زئية للغازات الفردية المكونة له.	قانون دالتون [16]
عند واجهة الهواء والماء، كمية الغاز التى تذوب فى ا لماء تحددها قابليته للذوبان فى الماء والضغط الجزئى له فى الهواء)مع افتراض ثبات درجة الحرارة(.	قانون هنرى [17]

الضغط الذى يدفع الشهيق هو الضغط الجوى)البارومترى(— وزن الهواء فوقنا. عند مستوى سطح البحر، يبلغ متوسطه 760 ملم زئبق، أو بالتعريف، *1 جو) atm 1(.* يتغير مع الطقس من يوم لآخر ويكون أقل عند الارتفاعات العالية، لكننا سنستخدم متوسط قيمة مستوى سطح البحر كنقطة مرجعية للنقاش.

إحدى الطرق لتغيير ضغط غاز محصور هى تغيير حجم الحاوية التى يحتويها. هذا الأمر ملخص فى قانون بويل: بافتراض ثبات درجة الحرارة، *ضغط كمية معينة من الغا ز يتناسب عكسيًا مع حجمها.* إذا احتوت الرئتان على كمية من الغاز و زاد حجم الرئة، فإن ضغطها الداخلى)الضغط داخل الرئة(ينخفض. و على العكس، إذا انخفض حجم الرئة، يرتفع الضغط داخل الرئة.)قارن هذا بتشبيه المحقنة.(

إذا انخفض الضغط داخل الرئة عن الضغط الجوى، فإن الهواء يم يل إلى التدفق نزولًا على تدرج الضغط إلى داخل الرئتين. وعلى العك س، إذا ارتفع الضغط داخل الرئة فوق الضغط الجوى، يتدفق الهواء إ لى الخارج. لذلك، كل ما علينا فعله للتنفس هو رفع وخفض الضغط د اخل الرئة بشكل دورى، باستخدام الآليات العصبية العضلية التى تم و صفها مؤخرًا.

عند التعامل مع تدفق الهواء التنفسى وضغوط الصدر الناتجة عن حركات العضلات السابقة، يجب أن نستخدم وحدة قياس جديدة تخ تلف عن تلك التى اعتدت عليها. فى الفصول السابقة، استخدمنا *مل يمترات الزئبق)مم زئبق(* كوحدة لقياس ضغط الدم، وسنستخدمها م رة أخرى لاحقًا فى هذا الفصل عند الحديث عن الضغط الجوى وغازا ت الدم. مليمترات الزئبق هى مقياس لارتفاع عمود الزئبق فى أنبوب مفرغ يمكن لقوة مثل ضغط الدم أو وزن الغلاف الجوى دفعه. الزئبق سائل ثقيل جدًا، لذلك نستخدمه لأن الضغوط يمكن قياسها بواسطة عمود زئبق قصير نسبيًا، كما فى جهاز قياس ضغط الدم فى عيادة ال طبيب. لكن الضغوط فى تدفق الهواء التنفسى صغيرة جدًا بحيث لا يمكنها تحريك عمود الزئبق كثيرًا؛ لذلك فإن الأدوات المعتمدة على ا لزئبق ليست حساسة بما فيه الكفاية.

لذلك، استخدم علماء وظائف الأعضاء التنفسية تقليديًا أعمدة الماء، ا لتى هى أكثر حساسية، ونقيس هذه الضغوط بوحدة *سنتيمترات الما ء)سم H_2O(* 1 ≈ مم زئبق 13.6 مم H_2O ≈ 1.4 سم H_2O(. التغ يرات الصغيرة فى الضغط تحرك عمود الماء أكثر من

[14]روبرت بويل)1627–1691(، فيزيائى وكيميائى أنجلو-أيرلندى

[15]جاك أ. س. تشارلز)1746–1823(، فيزيائى فرنسى

[16]جون دالتون)1766–1844(، فيزيائى وكيميائى إنجليزى

[17]ويليام هنرى)1774–1836(، كيميائى إنجليزى

مسار أعصاب العصب المبهم. تدخل الألياف الحسية فى هذه الأعصاب إلى النخاع الم ستطيل وتتصل تشابكيًا مع خلايا عصبية فى مجموعة التنفس الظهرية.

- مستقبلات التمدد توجد فى العضلات الملساء للشعب الهوا ئية والشعيبات الهوائية وفى الجنبة الحشوية. تستجيب لتم دد الرئتين وترسل إشارات إلى مجموعة التنفس الظهرية عبر أع صاب العصب المبهم. يؤدى التمدد المفرط إلى تفعيلانعكا س التمدد)هيرينغ-بروير([13]، وهو انعكاس جسدى وقائى يثبط بقوة خلايا العصب الحركية للإلهام ويوقف الشهيق. عند الرضع ، قد يكون هذا آلية طبيعية للانتقال من الشهيق إلى الزفير، ول كن بعد الطفولة يُفعّل فقط عند التمدد الشديد للرئتين.
- مستقبلات المهيجات هى نهايات عصبية بين خلايا الطهارة فى مجر ى الهواء. تستجيب للدخان، الغبار، حبوب اللقاح، الأبخرة الكيميائية ، الهواء البارد، والبلغم الزائد. تنقل الإشارات عبر أعصاب العصب ا لمبهم إلى مجموعة التنفس الظهرية، وتعيد مجموعة التنفس الظ هرية إرسال إشارات إلى عضلات التنفس والشعب الهوائية، مما يؤ دى إلى انعكاسات وقائية مثل تضيق الشعب الهوائية، التنفس السطحى، حبس النفس*)انقطاع التنفس(*، أو السعال.

التحكم الإرادى فى التنفس

التحكم الإرادى فى التنفس مهم فى الغناء، الكلام، حبس النفس، وظر وف أخرى. ينشأ هذا التحكم فى القشرة الحركية للمخ. ترسل الخلايا ا لعصبية المخرجة نبضات عبر المسارات القشرية الشوكية إلى مراكز ا لتكامل فى الحبل الشوكى، متجاوزة مراكز جذع الدماغ. هناك حدود لل تحكم الإرادى. قد يهدد الأطفال ذوو المزاج الحاد بحبس أنفاسهم حتى الموت، لكن ذلك مستحيل. يؤدى حبس النفس إلى ارتفاع مستوى ثانى أكسيد الكربون فى الدم حتى الوصول إلنقطة الانهيار حيث تتغل ب الضوابط التلقائية على الإرادة. عادةً ما يجبر هذا الناس على استئنا ف التنفس حتى لو فقدوا الوعى.

22.2ح الضغط والمقاومة وتدفق الهواء

الآن بعد أن عرفنا الجوانب العصبية العضلية للتنفس، سنستكشف كيف يؤدى توسع وانقباض القفص الصدرى إلى توليد تدفق الهواء دا خل وخارج الرئتين.

فهم التهوية الرئوية، ونقل الغازات فى الدم، وتبادل الغازات مع ا لأنسجة يعتمد على بعض قوانين الغازات الفيزيائية. هذه القوانين م سماة على أسماء مكتشفيها وليست سهلة الحفظ بالاسم بشكل بديه ى. الجدول 22.1 يسردها لراحتك وقد يكون مرجعًا مفيدًا أثناء تقدم ك فى دراسة فسيولوجيا التنفس.

الضغط وتدفق الهواء

يتحكم فى تدفق الهواء التنفسى نفس مبادئ التدفق والضغط والمقا ومة التى تتحكم فى تدفق الدم. كما رأينا فى القسم 20.2، فإن التدف ق)F(لسائل يتناسب طرديًا مع فرق الضغط بين نقطتين)ΔP(ويت ناسب عكسيًا مع المقاومة)R(:

$$F \propto \Delta P/R.$$

فى الوقت الحالى، سنركز بشكل خاص على ΔP، تدرج الضغط الذى يولد تدفق الهواء. سنتناول المقاومة لاحقًا.

[13]هاينريش إيفالد هيرينغ)1866–1948(، عالم فسيولوجيا ألمانى؛ جوزيف بروير)1842–1925(، طبيب نمساوى

عندما تتوقف عضلات التنفس عن الانقباض، يحقق الهواء الداخل بسرعة ضغطًا داخل الرئة مساويًا للضغط الجوى، ويتوقف التدفق. فى التنفس الهادئ، تزداد أبعاد قفص الصدر بضعة مليمترات فقط فى كل اتجاه، لكن هذا يكفى لزيادة حجمه الكلى بحوالى 500 مل. عادةً، يتدفق حوالى 500 مل من الهواء إلى الجهاز التنفسى.

طَبِّق ما تعرفه

عندما تستنشق، هل يتوسع صدرك لأن رئتيك تنتفخان، أم أن رئتيك تنتفخان لأن صدرك يتوسع؟ فسّر.

الزفير

الزفير المريح هو عملية سلبية تتحقق، كما رأينا، بشكل رئيسى بواسطة ارتداد مرن لقفص الصدر. هذا الارتداد يضغط الرئتين ويرفع الضغط داخل الرئة إلى حوالى +1 سم ماء)الخطوة 3 فى الشكل(. يتدفق الهواء إذن باتجاه تدرج الضغط، خارج الرئتين. فى التنفس القسرى، ترفع العضلات المساعدة الضغط داخل الرئة إلى +40 سم ماء.

تأثير مرونة الرئة واضح فى الحالة المرضية للهواء الجنبى وانخماص الرئة. الهواء الجنبى هو وجود هواء فى التجويف الجنبى. إذا تم ثقب جدار الصدر بين الأضلاع، على سبيل المثال، فإن الشهيق يسحب الهواء عبر الجرح إلى التجويف الجنبى وتنفصل الجنبة الحشوية والجدارية؛ ما كان *مساحة محتملة* بينهما يصبح تجويفًا مملوءًا بالهواء. بدون الضغط الجنبى السلبى للحفاظ على انتفاخ الرئتين، تنكمش الرئتان وتنهاران. يُسمى انهيار جزء أو كل الرئة الانخماص الرئوى[18] (AT-eh-LEC-ta-sis). يمكن أن يحدث الانخماص أيضًا نتيجة انسداد مجرى الهواء - على سبيل المثال، بواسطة ورم رئوى، تمدد وعائى، عقدة لمفاوية متورمة، أو جسم مستنشق.

يمتص الدم الغازات من الحويصلات الهوائية البعيدة عن الانسداد، و يحدث انهيار لذلك الجزء من الرئة لأنه لا يمكن إعادة نفخه.

مقاومة تدفق الهواء

الضغط هو أحد العوامل المحددة لتدفق الهواء؛ والعامل الآخر هو المقاومة. كلما زادت المقاومة، تباطأ التدفق. ولكن ما الذى يتحكم فى المقاومة؟ هناك عاملان مهمان بشكل خاص: قطر القصيبات وامتثال الرئة.

مثل الشرايين الصغيرة، فإن العدد الكبير من القصيبات، وصغر قطرها، وقدرتها على تغيير القطر تجعلها الوسيلة الأساسية للتحكم فى المقاومة. يمكن للقصبة الهوائية والشعب الهوائية أيضًا تغيير قطرها إلى حد ما، لكنها أكثر تقييدًا بسبب الغضاريف الداعمة فى جدرانها. زيادة قطر القصبة الهوائية أو القصيبة الهوائية تسمى توسع القصبات)bronchodilation(وتقليل القطر يسمى تضيق القصبات)bronchoconstriction(. الأدرينالين والأعصاب الودية)النورأدرينالين(تحفز توسع القصبات وتزيد من تدفق الهواء.

الهستامين، والأعصاب اللاودية)الأسيتيل كولين(، والهواء البارد، والمهيجات الكيميائية هى من العوامل التى تحفز تضيق القصبات. كثير من الناس اختنقوا بسبب تضيق القصبات الشديد الناتج عن الصدمة التأقية أو الربو)انظر التعمق 21.3(.

[18] atel = غير كامل، ناقص؛ ectasis = توسع

عمود الزئبق؛ يمكن رؤيتهم وقياسهم بدقة أكبر)على الرغم من أنهم الآن يُقاسون بأجهزة إلكترونية بدلاً من أنابيب مملوءة بالماء(.

نظرًا لأن تدفق الهواء التنفسى يُحرك بفارق *الضغط* بين الضغط الجوى المحيط وضغوط الصدر، فإن المناقشة التالية تعتمد على الضغوط *النسبية*. إذا تحدثنا عن وصول الضغط فى الحويصلات الرئوية إلى −2 سم H_2O أثناء الشهيق، فإننا نعنى أنه ينخفض بمقدار 2 سم H_2O تحت الضغط الجوى المحيط؛ وإذا ارتفع إلى +3 سم H_2O أثناء الزفير، فهو 3 سم H_2O فوق الضغط الجوى المحيط.

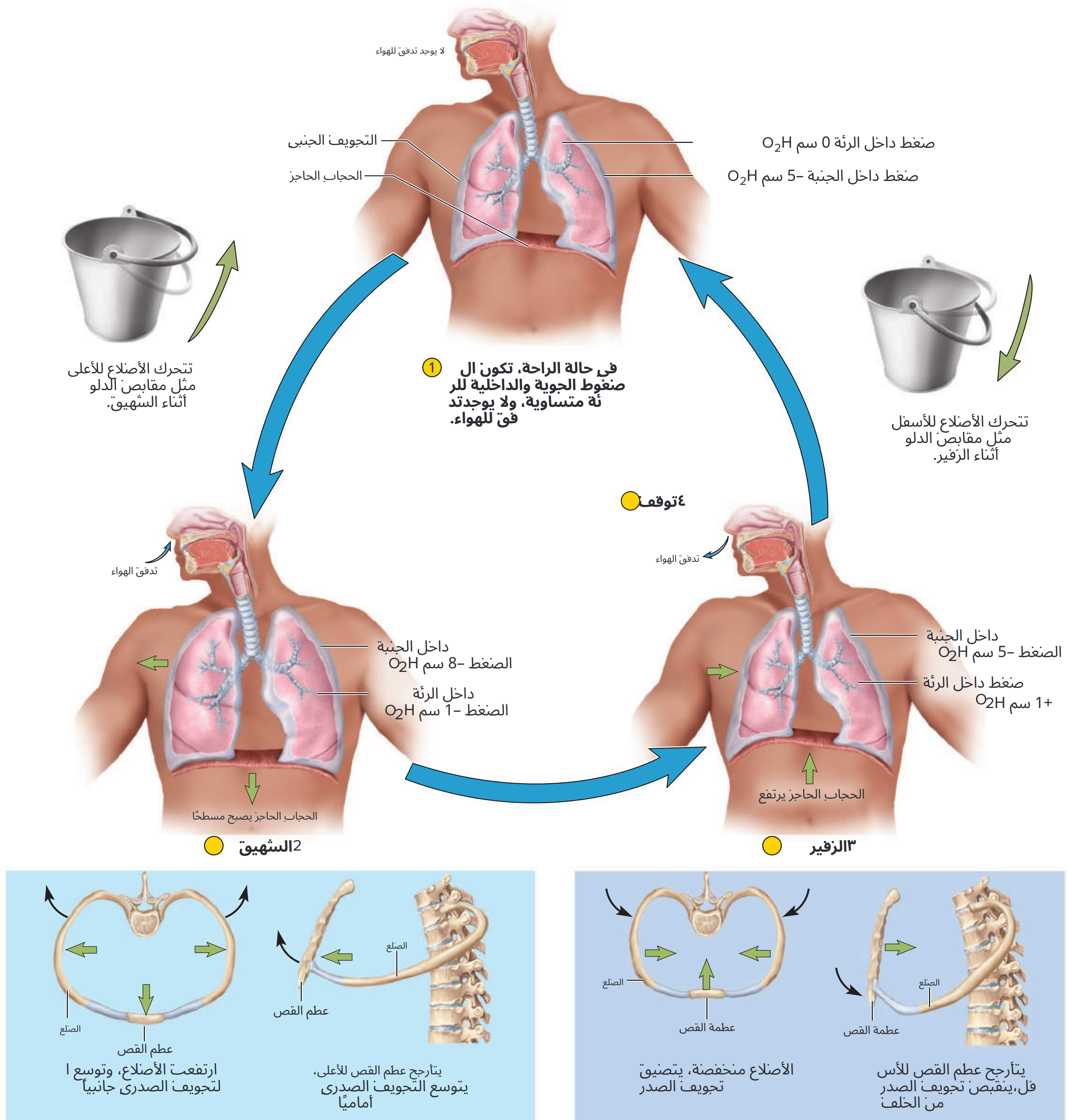
الشهيق

الآن فكر فى تدفق الهواء إلى الرئتين - الشهيق. الشكل 22.16 يرصد الأحداث وتغيرات الضغط التى تحدث خلال دورة تنفسية كاملة.

فى البداية)الخطوة 1 فى الشكل(، لا يوجد حركة لقفص الصدر، ولا فرق بين ضغط الهواء داخل الرئتين والضغط الجوى المحيط، ولا يوجد تدفق للهواء. ماذا يحدث عندما يتمدد قفص الصدر؟ لماذا لا تبقى الرئتان بنفس الحجم وتحتلان مساحة أقل فى الصدر؟ فكر فى طبقتى الجنبة: الجنبة الجدارية التى تبطن قفص الأضلاع والجنبة الحشوية على سطح الرئة. هما غير ملتصقتين تشريحياً على أسطحهما، لكنهما مبللتان وتلتصقان ببعضهما. المسافة بينهما)التجويف الجنبى(لا تتجاوز حوالى 10 إلى 30 ميكرومتر)حوالى عرض خلية واحدة نموذجية(. فى نهاية الزفير الطبيعى، يميل جدار الصدر)بما فى ذلك الجنبة الجدارية(إلى التمدد للخارج بسبب مرونته بينما تميل الرئتان، بسبب مرونتهما، إلى الانكماش للداخل. وهكذا، تسحب الرئتان وجدار الصدر فى اتجاهين متعاكسين. هذا يخلق ضغطًا جنبيًا سلبيًا)*ضغط داخل الجنبة*(بمتوسط حوالى −5 سم ماء بين الجنبة الجدارية والحشوية.

عندما تتحرك الأضلاع للأعلى والخارج أثناء الشهيق)الخطوة 2 فى الشكل(، تتبعها الجنبة الجدارية. لو لم يكن هناك تماسك الماء، كان من الممكن أن تسحب جدار الصدر بعيدًا عن الرئتين؛ لكن نظرًا لأن الغشائين المبللين يلتصقان ببعضهما، فإن ذلك يقلل فقط من ضغط داخل الجنبة قليلاً، إلى حوالى −8 سم ماء. مع سحب الجنبة الحشوية)سطح الرئة(للخارج، يتمدد الحويصلات الهوائية تحت سطح الرئة مباشرة. هذه الحويصلات مرتبطة ميكانيكيًا بالحويصلات الأعمق من خلال جدرانها، وتمتد الحويصلات الأعمق أيضًا. وهكذا، يتمدد الرئة بأكملها مع قفص الصدر. كما فى تشبيه المحقنة، تزداد حجم الحويصلات الهوائية وينخفض الضغط بداخلها. ينخفض الضغط داخل الحويصلات، وهو الضغط داخل الرئة)*ضغط الحويصلات*(إلى متوسط −1 سم ماء. لذلك، يوجد الآن تدرج فى الضغط من الضغط الجوى عند فتحتى الأنف إلى الضغط السلبى فى الحويصلات. يتدفق الهواء باتجاه هذا التدرج وينفذ إلى الرئتين. باختصار، نحن نستطيع الشهيق.

لكن هذه ليست القوة الوحيدة التى توسع الرئتين. هناك قوة أخرى وهى تسخين الهواء المستنشق. كما نرى من قانون تشارلز)انظر الجدول 22.1(، حجم كمية معينة من الغاز يتناسب طرديًا مع درجة حرارته المطلقة. يتم تسخين الهواء المستنشق إلى 37 درجة مئوية)99 درجة فهرنهايت(بحلول الوقت الذى يصل فيه إلى الحويصلات الهوائية. هذا يعنى أنه فى يوم بارد فى أمريكا الشمالية حيث تكون درجة الحرارة الخارجية، على سبيل المثال، 16 درجة مئوية)60 درجة فهرنهايت(، سترتفع درجة حرارة الهواء بمقدار 21 درجة مئوية)39 درجة فهرنهايت(أثناء الشهيق، ليصبح مماثلاً لدرجة حرارة الهواء فى المناطق الاستوائية. حجم مستنشق قدره 500 مل سيتوسع إلى 536 مل، وسيساهم هذا التمدد الحرارى قليلاً فى انتفاخ الرئتين.



الشكل 22.16 دورة التنفس. جميع الضغوط المذكورة هنا نسبية للضغط الجوى الخارجى للجسم، والذى يُعتبر صفرًا كنقطة مرجعية. لاحظ أن الضغوط ال تى تتحكم فى تدفق الهواء التنفسى تُقاس بالسنتيمتر ماء (سم 2H O)، وليس بالملم زئبق. مثل مقابض الدلو، كل ضلع متصل من ال طرفين (بالعمود الفقرى وعظمة القص) ويتأرجح لأعلى ولأسفل أثناء الشهيق والزفير.

APR

22.2د التهوية السنخية

الهواء الذى يدخل الحويصلات الهوائية فعلياً يصبح متاحاً لتبادل الغازا
ت، لكن ليس كل الهواء المستنشق يصل إلى هناك. حوالى 150 مل
منه يملأ منطقة التوصيل فى مجرى الهواء. وبما أن هذا الهواء لا يمك
نه تبادل الغازات مع الدم، فإن منطقة التوصيل تُسمى المساحة المي
تة التشريحية. تبلغ المساحة الميتة حوالى 1 مل لكل رطل من وزن ال
جسم فى الشخص السليم. ومع ذلك، فى بعض أمراض الرئة، قد تكو
ن أكبر بكثير. قد تكون بعض الحويصلات غير قادرة على تبادل الغازا
ت لأنها تفتقر إلى تدفق الدم أو لأن الغشاء الرئوى قد ازداد سمكه بـ
سبب الوذمة أو التليف. المساحة الميتة الفسيولوجية)الإجمالية(هى
مجموع المساحة الميتة التشريحية وأى مساحة ميتة مرضية قد توجد.

تختلف المساحة الميتة التشريحية حسب الظروف. فى حالة الا
سترخاء، يحافظ التحفيز اللاودى على تضيق مجرى الهواء إلى حد ما.
هذا يقلل المساحة الميتة بحيث يتهوية المزيد من الهواء المستنشق ا
لحويصلات الهوائية. فى حالة اليقظة أو التمرين، على العكس، يوسع ا
لجهاز العصبى الودى مجرى الهواء، مما يزيد من تدفق الهواء. يتجاوز
تدفق الهواء المتزايد الهواء الذى يُهدر بملء المساحة الميتة المتزايدة.

إذا استنشق شخص 500 مل من الهواء وبقى 150 مل منها فى الم
ساحة الميتة، فإن 350 مل تتهوية الحويصلات الهوائية. بضرب هذا فى م
عدل التنفس نحصل على معدل التهوية السنخية)AVR(— على سبيل الم
ثال،

350 مل/نفس × 12 نفس/دقيقة = 4200 مل/دقيقة.

من بين جميع مقاييس التهوية الرئوية، هذا المقياس هو الأكثر ارتباطًا
مباشرة بقدرة الجسم على إيصال الأكسجين إلى الأنسجة والتخلص م
ن ثانى أكسيد الكربون.
تيار الهواء الذى يُستنشق لا يدخل فعليًا إلى الحويصلات الهوائية.
هذا التدفق الكتلى للهواء يصل فقط إلى القصيبات النهائية. بعد هذه
النقطة، تصبح الممرات الهوائية ضيقة جدًا ومقاومتها للتدفق عالية
جدًا بحيث يتوقف التدفق الكتلى. يكمل الأكسجين رحلته إلى الحوي
صلات الهوائية، ويغادر ثانى أكسيد الكربون منها عن طريق الانتشار ا
لبسيط. ومع ذلك، فإن نبضات الشرايين الرئوية الناتجة عن ضربات ا
لقلب تضغط على الممرات الهوائية المجاورة وتسّرع هذه العملية.

الرئتان لا تفرغان تمامًا أثناء الزفير. هناك دائمًا بعض الهواء الم
تبقى يسمى الحجم المتبقى، وهو عادة حوالى 1300 مل لا يمكن زفير
ه حتى بأقصى جهد.
يختلط الهواء المتبقى مع الهواء النقى القادم فى الشهيق التالى، لذلك
لا يبقى نفس الهواء المنخفض الأكسجين فى الرئتين دورة بعد أخرى.
يستغرق الأمر حوالى 90 ثانية، أو ما يقارب 18 نفسًا بمعدل وعمق
تنفس متوسط، لاستبدال كل الهواء الرئوى بالكامل.

22.2e قياس التهوية ا
لرئوية

غالبًا ما يقيس الأطباء تهوية المريض الرئوية لتقييم شدة مرض تنف
سى أو لمراقبة تحسن أو تدهور حالة المريض. تُسمى عملية إجراء هذه
القياسات بالتخطيط التنفسى)spirometry(.

[19]*spiro*= نفس؛ *metry*= عملية القياس

الامتثال الرئوى يعنى سهولة توسع الرئتين، أو بدقة أكثر، التغير
فى حجم الرئة بالنسبة لتغير الضغط المعطى. قد ينتج عن جهد الشه
يق نفس الضغط داخل الجنبة لدى شخصين، لكن الرئتين تتوسع أقل
لدى شخص يعانى من امتثال أقل)رئتان أكثر صلابة(، أو على الأقل
يجب على ذلك الشخص بذل جهد أكبر لنفخ الرئتين إلى نفس الدرجة
كما فى الشخص الآخر. فكر فى الفرق فى الجهد اللازم لنفخ بالون حف
لة جديد تمامًا)ذو امتثال منخفض(مقابل نفخ بالون تم نفخه من ق
بل. يقل الامتثال الرئوى بسبب أمراض الرئة التنكسية مثل السل ومر
ض الرئة السوداء، حيث تتصلب الرئتان بسبب نسيج الندبة. فى مثل
هذه الحالات، يتوسع القفص الصدرى بشكل طبيعى لكن الرئتين تتو
سعان بشكل نسبى قليل.

الحد الرئيسى على امتثال الرئة هو الطبقة الرقيقة من الماء على ا
لطهارة التنفسية، خاصة من القصيبات التنفسية إلى الحويصلات اله
وائية. هذه الطبقة ضرورية لتبادل الغازات، لكنها تخلق مشكلة محتم
لة للتهوية الرئوية.
فكر مرة أخرى فى كيفية التصاق ورقتى صحيفة مبللتين معًا.
تنجذب جزيئات الماء إلى بعضها البعض بواسطة الروابط الهيدروجين
ية، مما يخلق توتراً سطحياً، كما رأينا فى القسم 2.2أ. يمكنك تقدير ق
وة هذا الجذب فى الرئتين إذا فكرت فى صعوبة فصل صحيفة مبللة.
يجذب التوتر السطحى جدران مجرى الهواء إلى الداخل نحو التجويف.
إذا تُرك دون رقابة، فإن أجزاء من مجرى الهواء ستنهار مع كل زفير و
ستقاوم بشدة إعادة الانتفاخ. هذا ينطبق بشكل خاص على المجارى ا
لهوائية الصغيرة مثل القصيبات التنفسية والقنوات السنخية التى تؤد
ى إلى الحويصلات الهوائية.

الحل لهذه المشكلة يعيدنا إلى الخلايا السنخية الكبيرة والسطح ا
لنشط الخاص بها. السطح النشط هو عامل يقطع الروابط الهيدروجين
ية للماء ويقلل التوتر السطحى؛ والصابون والمنظفات أمثلة يومية عل
ى ذلك. يتكون السطح النشط الرئوى من بروتينات وأحماض دهنية أم
فيباثية. هذه الجزيئات جزئياً كارهة للماء، لذا تنتشر على سطح طبقة ا
لماء، مغمورة جزئياً فيها مثل مكعبات الثلج العائمة فى وعاء من الماء
. عندما تنكمش المجارى الهوائية الصغيرة، تُضغط الجزيئات السطح
ية معاً، مثل مكعبات الثلج التى تُدفع إلى مساحة أصغر. إذا كانت ال
فراغات الهوائية مغطاة فقط بطبقة من الماء، فقد تستمر فى الانهيار،
لأن جزيئات الماء يمكن أن تتكدس لتشكل طبقة أكثر سمكاً من الرط
وبة. لكن التركيب الفيزيائى للسطح النشط يقاوم الانضغاط. لا يمكنها
التكدس فى طبقة أكثر سمكاً لأن مناطقها المحبة للماء تقاوم الانفصا
ل عن الماء أدناها. عندما تصبح مكتظة فى مساحة صغيرة وتقاوم ال
تراكم، فإنها تبطئ ثم توقف انهيار مجرى الهواء.

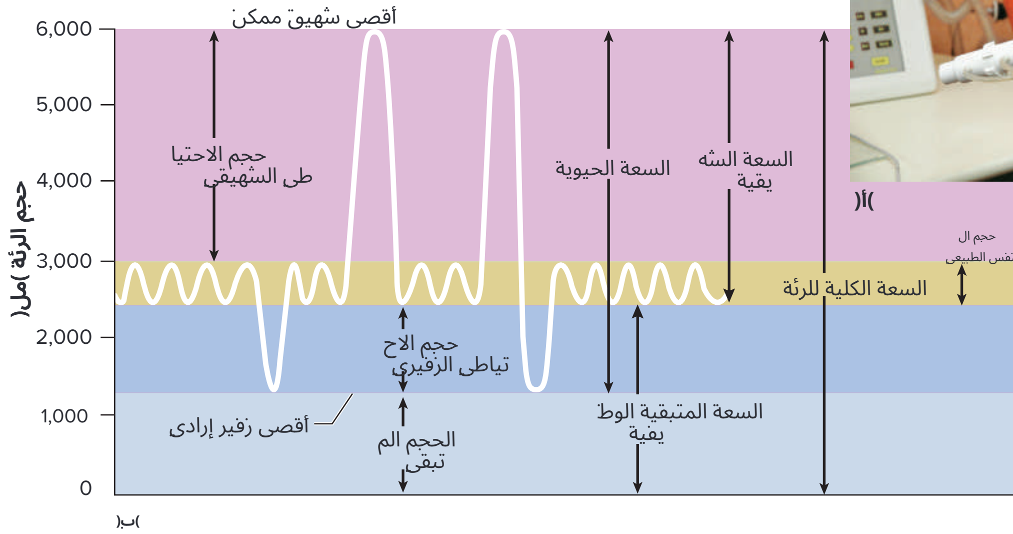
ينتشر السطح النشط الرئوى فى المجارى الهوائية الصغيرة مع ال
تنفس العميق. يُشجع المرضى الذين خرجوا حديثاً من الجراحة على ا
لتنفس بعمق، حتى وإن كان مؤلماً، لتعزيز انتشار هذا السطح النشط
عبر القنوات السنخية والقصيبات الصغيرة.
الأشخاص الذين لا يلتزمون بتمارين التنفس قد يعانون من انهيار أجزا
ء من الرئة التى لم تُغطّ بشكل كافٍ بالسطح النشط.

تتضح أهمية هذا السطح النشط بشكل خاص عند نقصانه. غالباً
ما يعانى الأطفال الخدج من نقص فى السطح النشط وصعوبة كبيرة
فى التنفس)انظر القسم 29.3ب(. يمكن علاج متلازمة الضائقة التنف
سية للرضع)IRDS(الناتجة عن ذلك بإعطاء السطح النشط الصناعى.

أربعة من هذه القيم تُسمى الأحجام التنفسية: حجم التنفس، حجم الاحتياطى الشهيقى، حجم الاحتياطى الزفيرى، والحجم المتبقى. حجم التنفس (TV) هو كمية الهواء التى تُستنشق وتُزفر فى دورة واحدة؛ فى التنفس الهادئ، يبلغ متوسطها حوالى 500 مل. بالإضافة إلى الكمية التى تُستنشق عادة، من الممكن عادة استنشاق 3000 مل أخرى بأقصى جهد؛ وهذا هو حجم الاحتياطى الشهيقى (IRV). وبالمثل، مع أقصى

لب من المريض التنفس فى جهاز يسمى مقياس التنفس (الشكل 22.17أ)، الذى يعيد التقاط النفس الزفير ويسجل متغيرات مثل معدل وعمق التنفس، سرعة الزفير، ومعدل استهلاك الأكسجين. تُعطى قياسات نموذجية لرجل بالغ سليم فى الجدول 22.2 وتُشرح فى الشكل 22.17ب. القيم لدى الإناث أقل قليلاً بسبب حجم الجسم الأصغر فى المتوسط.





الشكل 22.17 أحجام وسعات الجهاز التنفسى. (أ) شخص يتنفس فى مقياس التنفس. (ب) رسم بيانى مثالى للتنفس. يشير الخط المتموج إلى الشهيق عند ارتفاعه والزفير عند انخفاضه. قارن مع الجدول 22.2.

لماذا يعتبر مشبك الأنف ضروريًا للحصول على مخطط التنفس صالح؟

أ: BSIP/Science Source

الجدول 22.2	الأحجام والسعات التنفسية لرجل شاب متوسط	
القياس	**القيمة النموذجية**	**التعريف**
أحجام التنفس		
حجم التنفس (TV)	500 مل	كمية الهواء المستنشقة والمزفرة فى دورة واحدة أثناء التنفس الهادئ
حجم الاحتياطى الشهيقى (IRV)	3000 مل	كمية الهواء الزائدة عن حجم التنفس يمكن استنشاقها بأقصى جهد
حجم الاحتياطى الزفيرى (ERV)	1200 مل	كمية الهواء الزائدة عن حجم التنفس يمكن زفيرها بأقصى جهد
الحجم المتبقى (RV)	1300 مل	كمية الهواء المتبقية فى الرئتين بعد الزفير الأقصى؛ وهى الكمية التى لا يمكن زفيرها طوعًا أبدًا
السعات التنفسية		
السعة الحيوية (VC)	4700 مل	كمية الهواء التى يمكن استنشاقها ثم زفيرها بأقصى جهد؛ أعمق نفس ممكن (VC = ERV + TV + IRV)
السعة الشهيقية (IC)	3500 مل	أقصى كمية من الهواء يمكن استنشاقها بعد زفير طبيعى (IC = TV + IRV)
السعة المتبقية الوظيفية (FRC)	2500 مل	كمية الهواء المتبقية فى الرئتين بعد زفير طبيعى (FRC = RV + ERV)
السعة الكلية للرئة (TLC)	6000 مل	أقصى كمية من الهواء يمكن أن تحتويها الرئتان (TLC = RV + VC)

الجدول 22.3 **التغيرات فى إيقاع التنفس**

Apnea[21])توقف التنفس(	توقف مؤقت عن التنفس)نفس واحد أو أك ثر مفقود(
ضيق التنفس [22])ديسب-نى-آه(	تنفس شاق ولهاث؛ ضيق فى التنفس
فرط التنفس [23] (HY-purp-NEE-uh)	زيادة معدل وعمق التنفس استجابةً للتمرى ن، الألم، أو حالات أخرى
فرط التنفس	زيادة التهوية الرئوية تتجاوز الطلب الأى ضى، غالبًا ما ترتبط بالقلق؛ تطرد CO 2 أسرع مما يُنتج، مما يؤدى إلى انخفاض تر كيز 2CO فى الدم ورفع درجة حموضة ال دم
نقص التهوية[24]	انخفاض التهوية الرئوية؛ يؤدى إلى زيادة تر كيز 2CO فى الدم إذا كانت التهوية غير كا فية لطرد 2CO بنفس سرعة إنتاجه
تنفس كوسماول[25]	تنفس عميق وسريع غالبًا ما يحدث بسب ب الحماض؛ يُرى فى داء السكرى
صنيق التنفس عند الاستلقاء [26] (or-thop-NEE-uh)	ضيق التنفس الذى يحدث عندما يكون ا لشخص مستلقيًا أو فى أى وضع آخر غير ا لوقوف أو الجلوس بشكل مستقيم؛ يُرى ف ى فشل القلب، والربو، وانتفاخ الرئة، وحالا ت أخرى
توقف التنفس	التوقف الدائم عن التنفس)ما لم يكن هناك تدخل طبى(
تسرع التنفس [27])تاك-إب-نى-آ(	التنفس المتسارع

تخدم التغيرات الأخرى فى التهوية الرئوية أغراض التحدث، والتع بير عن المشاعر)الضحك، البكاء(، والتثاؤب، والفواق، وطرد الأبخرة ا لضارة، والسعال، والعطس، وطرد محتويات البطن. يُحفز السعال بوا سطة المهيجات فى الجهاز التنفسى السفلى. للسعال، تغلق الحنجرة وتنقلص عضلات التنفس والبطن، مما ينتج ضغطًا عاليًا فى الجهاز ا لتنفسى السفلى. ثم تفتح الحنجرة فجأة وتطلق دفقة هواء انفجارية ب سرعة تتراوح بين ٠١ إلى ٥١ مترًا فى الثانية)٢٢–٣٣ ميلًا فى الساعة(. هذا يدفع المخاط والمواد الغريبة نحو البلعوم والفم. يُثار العطس بوا سطة المهيجات فى تجويف الأنف. آليته مشابهة للسعال باستثناء أن الحنجرة تبقى مفتوحة باستمرار، ويمنع الحنك الرخو واللسان تدفق ا لهواء بينما يتزايد الضغط الصدرى، ثم يُخفض الحنك الرخو لتوجيه جز ء من تيار الهواء عبر الأنف. تُنسق هذه الأفعال بواسطة مراكز السعال والعطس فى النخاع المستطيل.

---

21 *a* = بدون؛ *pnea* = التنفس

22 *dys* = صعب، غير طبيعى، مؤلم؛ *pnea* = التنفس

23 *hyper* = فوق الطبيعى

24 *hypo* = تحت الطبيعى

25 أدولف كوسماول)1822–1902(، طبيب ألمانى

26 *أرثو* = مستقيم، منتصب؛ *بنيا* = التنفس

27 *تاشى* = سريع؛ *بنيا* = التنفس

الجهد، يمكن للمرء عادةً أن يزفر ٠٠٢١ مل إضافية فوق الكمية الطبى عية؛ هذا الفرق هو حجم الاحتياطى الزفيرى)ERV(. حتى بعد زفير إرا دى أقصى، يبقى حجم البقايا)RV(حوالى ٠٠٣١ مل. يسمح هذا الهو اء باستمرار تبادل الغازات مع الدم حتى بين أوقات استنشاق الهواء ا لنقى.

يتم الحصول على أربعة قياسات أخرى، تسمى *السعات التنفس ية*، عن طريق جمع اثنين أو أكثر من الأحجام التنفسية: السعة الحيو ية)VC(، (ERV + TV + IRV) السعة الشهيقية، (TV + IRV) السعة ا لوظيفية المتبقية)RV + ERV(، و السعة الرئوية الكلية)RV + VC(. ا لسعة الحيوية، وهى القدرة القصوى على تهوية الرئتين فى نفس واحد ، هى مقياس مهم بشكل خاص لصحة الرئة.

تساعد قياسات التنفس)السبيرومترية(فى تقييم وتمييز بين ا ضطرابات الانسداد و اضطرابات التقييد فى الرئة. اضطرابات التقيى د هى التى تقلل من امتثال الرئة، مما يحد من مقدار تمدد الرئتين. تظهر فى قياسات التنفس على شكل انخفاض فى السعة الحيوية. أى مرض يسبب تليفًا رئويًا له تأثير تقييدى: مثل مرض الرئة السوداء وا لسل. اضطرابات الانسداد هى التى تعيق تدفق الهواء عن طريق ت ضييق أو انسداد مجرى الهواء.

تجعل من الصعب استنشاق أو زفير كمية معينة من الهواء. الربو والتهاب الشعب الهوائية المزمن هما أكثر الأمثلة شيوعًا. يمكن قياس اضطرابات الانسداد عن طريق جعل المريض يزفر بأسرع ما يمكن فى جهاز قياس التنفس وقياس حجم الزفير القسرى)FEV(— حجم الهواء أو نسبة السعة الحيوية التى يمكن زفيرها خلال فترة زم نية محددة. يجب أن يكون البالغ السليم قادرًا على إخراج ٥٧٪ إلى ٥٨ ٪من السعة الحيوية فى ثانية واحدة)قيمة تسمى FEV 0.1(. فى المنزل ، يمكن لمرضى الربو وغيرهم مراقبة وظائفهم التنفسية عن طريق الن فخ فى جهاز محمول يقيس تقريبًا التدفق الأقصى، وهو أقصى سرع ة للزفير.

كمية الهواء المستنشقة فى الدقيقة هى حجم التنفس فى الدقى قة)MRV(. يحدد MRV إلى حد كبير معدل التهوية السنخية. يمكن ق ياسه مباشرة باستخدام جهاز قياس التنفس أو الحصول عليه بضرب حجم التنفس)TV(فى معدل التنفس. على سبيل المثال، إذا كان لدى الشخص حجم تيار هوائى مقداره 500 مل لكل نفس ومعدل 12 نفسًا فى الدقيقة، فإن حجم التهوية اللحظى)MRV(سيكون 500 × 12 = 6000 مل/دقيقة. أثناء التمرين الشديد، قد يصل ح جم التهوية اللحظى إلى 125 إلى 170 لتر/دقيقة. يُطلق على هذا اسم التهو ية الطوعية القصوى)MVV(، والتى كانت تُعرف سابقًا بسعة التنفس القى صوى.

22.2f التغيرات فى إيقاع التنفس

التنفس الهادئ والمسترخى يُسمى التنفس الطبيعى[20] يووب-نى-آه(. عادةً ما يتميز بحجم تيار حوالى 500 مل ومعدل تنفس من 12 إلى 15 نفسًا فى الدقيقة. يمكن أن تسبب الحالات المتنوعة مثل التمرين أو القلق أو حالات مرضية مختلفة انحرافات مثل التنفس السريع أو البطيء أو المتعب بشكل غير طبيعى. الجدول 22.3 يحدد المصطلحات السريرية لعدة من هذه التغيرات. يجب أن تتعرف على هذه المصطلحات قبل المتابعة، لأن المناقشات اللاحقة فى هذا الفصل تفترض معرفة عملية ببعض هذه المصطلحات.

---

20 *eu* = سهل، طبيعى؛ *pnea* = التنفس

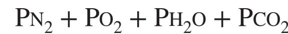
22.3أ تركيب الهواء

يتكون الهواء من حوالى 78.6% نيتروجين؛ 20.9% أكسجين؛ 0.04% ثانى أكسيد الكربون؛ عدة غازات بكميات صغيرة مثل الأرجون، النيون ، الهيليوم، الميثان، والأوزون؛ وكمية متغيرة من بخار الماء. يشكل بخا ر الماء من 0% إلى 4%، اعتمادًا على درجة الحرارة والرطوبة؛ وسنس تخدم قيمة 0.5%، وهى قيمة نموذجية ليوم بارد وصافى.

الضغط الجوى الكلى هو مجموع مساهمات هذه الغازات الفردية — وهو مبدأ يُعرف باسم قانون دالتون)انظر الجدول 22.1(. تُسمى ا لمساهمة المنفصلة لكل غاز فى الخليط بالضغط الجزئى ويرمز له بالح رف P متبوعًا بصيغة الغاز، مثل PO_2 وبما أننا الآن مهتمون بالضغوط الجوية وكيف تؤثر على الضغوط الجزئية لغازات الدم، نعود إلى وحدة القياس مم زئبق)mm Hg(وليس سم ماء)cm H_2O(كما كنا ن فعل عند دراسة التهوية الرئوية. إذا افترضنا أن متوسط الضغط الجوى عند مستوى سطح البحر هو 760 مم زئبق وأن الأكسجين يشكل 20. 9% من الغلاف الجوى، فإن PO_2 يكون ببساطة

$$0.209 \times 760 \text{ mm Hg} = 159 \text{ mm Hg.}$$

تطبيق قانون دالتون على خليط الغازات المذكور فى الهواء يعطى نا ما يلى:



$$PN_2 + PO_2 + PH_2O + PCO_2$$

$$\approx 597 + 159 + 3.7 + 0.3$$

$$= 760.0 \text{ mm Hg.}$$

تتغير هذه القيم بشكل كبير عند الارتفاعات العالية)انظر التعمق 22.3).

هذا هو تركيب الهواء الذى نستنشقه، لكنه ليس تركيب الهواء فى الحويصلات الهوائية. يمكن أخذ عينة من هواء الحويصلات باستخ دام جهاز يجمع آخر 10 مل من الهواء الزفيرى. كما نرى فى الجدول 22 .4، يختلف تركيبه عن تركيب الغلاف الجوى بسبب ثلاثة عوامل:)1(يتم ترطيبه عن طريق ملامسته للأغشية المخاطية، لذا فإن ضغط بخا ر الماء PH_2O فى الهواء الحويصلى أعلى بأكثر من 10 مرات من الهواء المستنشق.)2(يختلط الهواء المستنشق حديثًا مع الهواء المتبقى م ن دورة التنفس السابقة، لذلك يتم تخفيف الأكسجين ويُثرى بثانى أ كسيد الكربون من الهواء المتبقى.)3(هواء الحويصلات CO_2

الجدول 22.4 تركيب الهواء المستنشق)الجوى(وهواء ا لحويصلات

الغاز	الهواء المستنشق*		هواء الحويصلات	
N_2	78.6%	597 مم زئبق	74.9%	569 مم زئبق
O_2	20.9%	159 مم زئبق	13.7%	104 مم زئبق
H_2O	0.5%	3.7 مم زئبق	6.2%	47 مم زئبق
CO_2	0.04%	0.3 مم زئبق	5.3%	40 مم زئبق
الإجمالى	100%	760 مم زئبق	100%	760 مم زئبق

* القيم النموذجية ليوم بارد وصافى؛ تختلف القيم حسب درجة الحرارة والرطوبة. يتم تجاهل الغازا ت الأخرى الموجودة بكميات صغيرة.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

7. اشرح لماذا يسبب انقباض الحجاب الحاجز الشهيق بينما يسبب انقباض عضلة البطن العرضية الزفير.

8. أى نواة تنفسية فى جذع الدماغ لا غنى عنها للتنفس؟ ماذا تفعل النوى الأخرى؟

9. اشرح لماذا قانون بويل ذو صلة بعمل عضلات الجهاز التنفسى.

10. اشرح لماذا يتطلب التنفس الطبيعى)eupnea(القليل أو لا يتطلب أ ى عمل من عضلات الزفير.

11. حدد فائدة وعيبًا للتضيق القصبى الطبيعى)غير المر ضى(.

12. افترض أن شخصًا صحيًا لديه حجم تيار)tidal volume(يبلغ 650 مل، ومساحة ميتة تشريحية)anatomical dead space(تبلغ 160 مل، ومعدل تنفس ى بلغ 14 نفسًا فى الدقيقة. احسب معدل التهوية السنخية)alveolar vent ilation rate(لديه.

13. افترض أن شخصًا لديه سعة رئوية كلية)total lung capacity(تبلغ 5800 مل، وحجم متبقى)resi dual volume(يبلغ 1200 مل، وحجم احتياطى شهيقى)inspiratory reserve v olume(يبلغ 2400 مل، وحجم احتياطى زفيرى)expiratory reserve volume(يبلغ 1400 مل. احسب حجم التيار)tidal volume(لديه.

22. 3 تبادل الغازات والنقل

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. تعريف الضغط الجزئى ومناقشة علاقته بمزيج غازى مثل الهواء ؛

ب. مقارنة تركيب الهواء المستنشق والهواء الحويصلى؛

ج. مناقشة كيف يؤثر الضغط الجزئى على نقل الغازات بواسطة الدم؛

د. وصف آليات نقل الأكسجين O_2 وثانى أكسيد الكربون CO_2 ؛

هـ. وصف العوامل التى تتحكم فى تبادل الغازات فى الرئتين والشعيرات الدموية الجهازية؛

و. شرح كيف يتم تعديل تبادل الغازات وفقًا للاحتياجات الأيضية للأنسجة المختلفة؛ و

ز. مناقشة تأثير غازات الدم ودرجة الحموضة على إيقاع التنفس.

فى النهاية، التنفس يتعلق بالغازات، وخاصة الأكسجين وثانى أكسيد ا لكربون. سنوجه انتباهنا الآن إلى سلوك هذه الغازات فى جسم الإنسا ن: كيف يتم الحصول على الأكسجين من الهواء المستنشق وتوصيله إلى الأنسجة، وكيف يتم إزالة ثانى أكسيد الكربون من الأنسجة وإطلاق ه فى الهواء الزفير. أولاً، من الضرورى فهم تركيب الهواء الذى نستن شقه وكيف تتصرف الغازات عند ملامستها لطبقة الماء التى تبطن ال حويصلات الهوائية.

إذا كان الضغط الجزئى للغاز أكبر فى الهواء، فإنه ينتشر إلى الماء.

قانون هنرى ينص على أنه عند واجهة الهواء والماء، لدرجة حرارة م عينة، كمية الغاز التى تذوب فى الماء تحدد بواسطة ذوبانيته فى الماء و ضغطه الجزئى فى الهواء (الشكل 22.18). وبالتالى، كلما زاد ضغط الأك سجين الجزئى O_2 فى هواء الحويصلات، زاد الأكسجين الذى يلتقطه الدم. وبما أن الدم القادم إلى الحويصلة يحتوى على ضغط جزئى أعلى لثانى أكسيد الكربون CO_2 من الهواء، فإنه يطلق CO_2 إلى هواء الحويصلة. عند الحو يصلة، يُقال إن الدم يقوم بتفريغ CO_2 وتحميل O_2 كل غاز فى المزيج يتصرف بشكل مستقل؛ انتشار غاز واحد لا يؤثر على انتشار غاز آخر.

كل من تحميل O_2 وتفريغ CO_2 يشمل كريات الدم الحمراء (RBCs). لذلك تعتمد كفاءة هذه العمليات على

نظرة أعمق 22.3

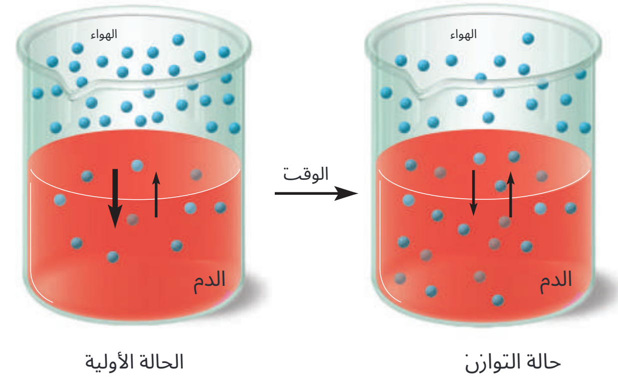


التاريخ الطبى

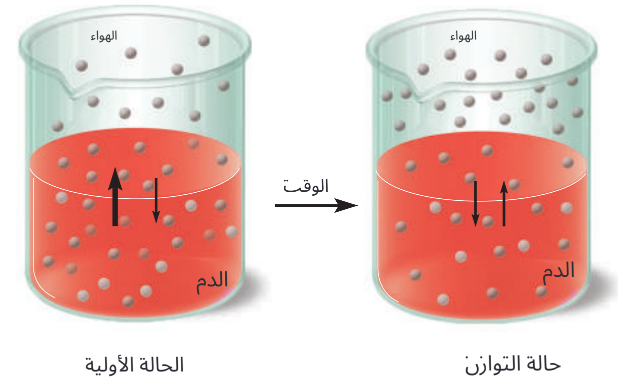
رحلة Zenith

كما يعلم أى طيار أو متسلق جبال، يصبح الهواء أرق بشكل كبير من مستوى سطح البحر إلى الارتفاعات العالية. وقد أدرك الطبيب الفرنسى بول بيرت (1833–1886)، المعروف عادةً كمؤسس طب الفضاء الجوى، هذا الأمر بشكل مأساوى للغاية. فقد اخترع أول غرفة ضغط قادرة على محاكاة تأثيرات الارتفاعات العالية، وقام بمجموعة متنوعة من التجارب على البشر والحيوانات لاختبار تأثيرات تغير الضغط الجزئى للأكسجين. فى عام 1875، انطلق منطاد الهواء الساخن غاستون تيساندير من باريس فى منطاد اسمه *Zenith* مع اثنين من تلاميذ بيرت فى علم وظائف الأعضاء. كان هدفهم هو دراسة تأثيرات انخفاض ضغط الأكسجين التى لا يمكن الوصول إليها إلا بالصعود إلى ارتفاعات عالية جداً. تجاهلوا نصيحة بيرت بالتنفس المستمر للأكسجين التكميلى، وبدلاً من ذلك تنفسوه فقط عندما شعروا بالحاجة إليه. أثناء صعودهم، راقبوا بعضهم البعض وسجلوا ملاحظاتهم. وعندما لم يروا أى تأثيرات سلبية، استمروا فى التخلص من البالاست والصعود إلى ارتفاع أعلى، حتى وصلوا فى النهاية إلى 28000 قدم.

لكن بعد تجاوز ارتفاع 24000 قدم، عانوا من التخدير، شلل عضلى، النشوة، وأخيرًا فقدان الوعى. فى النهاية نزلت البالون من تلقاء نفسها مع وفاة اثنين من الرجال الثلاثة؛ فقط تيساندييه عاش ليكتب عن ذلك.



(أ) الأكسجين



(ب) ثانى أكسيد الكربون

الشكل 22.18 قانون هنرى وعلاقته بتبادل الغازات فى الحويصلات الهوائية. (أ) ضغط الأكسجين الجزئى (PO_2) فى هواء الحويصلات الهوائية يكون فى البداية أعلى من ضغط الأكسجين الجزئى (PO_2) فى الدم القادم إلى الحويصلة. ينتشر الأكسجين إلى الدم حتى يصل الاثنان إلى حالة توازن. (ب) ضغط ثانى أكسيد الكربون الجزئى (PCO_2) فى الدم القادم يكون فى البداية أعلى من ضغط ثانى أكسيد الكربون الجزئى (PCO_2) فى هواء الحويصلات. ينتشر ثانى أكسيد الكربون إلى الحويصلة حتى يصل الاثنان إلى حالة توازن.

تبادل O_2 وCO_2 مع الدم. وبالتالى، فإن ضغط جزئى O_2 فى هواء الحويصلات يبلغ حوالى 65% من هواء الشهيق، وضغط جزئى CO_2 فيه أعلى بأكثر من 130 مرة من المستوى الجوى.

▶▶▶ طبق ما تعرفه

الهواء الزفيرى يُعتبر ككل (وليس فقط آخر 10 مل) يحتوى على حوالى 15.3% O_2 و4.2% CO_2. لماذا تختلف هذه القيم عن تلك الخاصة بهواء الحويصلات؟

APR 22.3ب تبادل الغازات فى الحويصلات

الهواء فى الحويصلة على اتصال بطبقة الماء التى تغطى طهارة الحويصلة. لكى يدخل الأكسجين إلى الدم، يجب أن يذوب فى هذا الماء ويمر عبر الغشاء التنفسى الذى يفصل الهواء عن مجرى الدم. ولكى يخرج ثانى أكسيد الكربون من الدم، يجب أن يمر فى الاتجاه المعاكس وينتشر من طبقة الماء إلى هواء الحويصلة. يُسمى هذا المرور ذهابًا وإيابًا لـ O_2 و CO_2 عبر الغشاء التنفسى تبادل الغازات فى الحويصلات.

السبب فى انتشار O_2 فى اتجاه واحد و CO_2 فى الاتجاه الآخر هو أن كل غاز ينتشر حسب تدرج الضغط الجزئى الخاص به.

كلما تلامس الهواء والماء معًا، تنتشر الغازات حسب تدرجاتها حتى يتساوى الضغط الجزئى لكل غاز فى الهواء مع ضغطه الجزئى فى الماء. إذا كان ضغط الغاز الجزئى فى الماء أكبر منه فى الهواء، فإنه ينتشر إلى الهواء؛ ورائحة الكلور بالقرب من حمام السباحة دليل على ذلك.

بقاء كريات الدم الحمراء فى الشعيرات الدموية الحويصلية مقارنةً بمدة تحمي
ل أو تفريغ كل غاز بالكامل — أى، حتى تصل إلى تركيزات التوازن فى دم ال
شعيرات الدموية. يستغرق الوصول إلى التوازن حوالى 0.25 ثانية. فى حالة ا
لراحة، عندما يكون تدفق الدم أبطأ ما يمكن، تستغرق كريات الدم الحمراء حوا
لى 0.75 ثانية لعبور الشعيرات الدموية الحويصلية — وهى مدة كافية لتحمي
ل أقصى كمية من الأكسجين. حتى أثناء التمارين الشديدة، عندما يتدفق الدم
بشكل أسرع، تبقى كريات الدم الحمراء فى الشعيرات الدموية الحويصلية حوا
لى 0.3 ثانية، وهى مدة لا تزال كافية.

تؤثر عدة متغيرات على كفاءة تبادل الغازات فى الحويصلات الهوا
ئية، وتحت الظروف غير الطبيعية، قد تمنع بعض هذه العوامل التحم
يل والتفريغ الكامل للغازات:

- تدرجات الضغط للغازات. ضغط الأكسجين الجزئي (PO_2) حوالى 104
ملم زئبق فى هواء الحويصلات و40 ملم زئبق فى الدم القادم إلى الحو
يصلة. لذلك ينتشر الأكسجين من الهواء إلى الدم، حيث يصل إلى
ضغط أكسجين جزئى مقداره 104 ملم زئبق. ومع ذلك، قبل أن
يغادر الدم الرئة، ينخفض هذا الضغط إلى حوالى 95 ملم زئبق.
يحدث هذا التخفيف فى الأكسجين لأن الأوردة الرئوية تتصل
بالأوردة القصبية فى الرئتين، مما يؤدى إلى بعض الخلط
بين الدم الرئوى الغنى بالأكسجين والدم الجهازى الفقير با
لأكسجين. على الرغم من أن الدم يكون مشبعًا بالأكسجين بنس
بة 100% عند خروجه من الشعيرات الدموية الحويصلية، إلا أ
نه من شبه المستحيل أن يبقى مشبعًا بنسبة 100% عند خروج
ه من الرئتين.
ضغط ثانى أكسيد الكربون الجزئى (PCO_2) حوالى 46 ملم زئبق فى
الدم القادم إلى الحويصلة و40 ملم زئبق فى هواء الحويصلات. لذلك
ينتشر ثانى أكسيد الكربون من الدم إلى الهواء. تم تلخيص هذه التغيرا
ت هنا وفى المنطقة الصفراء "نقل الغازات" فى الشكل 22.19.

الدم الخارج من الرئتين		الدم الداخل إلى الرئتين	
PO_2	95 مم رئبق	PO_2	40 مم رئبق
PCO_2	40 مم رئبق	PCO_2	46 مم رئبق

تختلف هذه التدرجات فى ظروف خاصة مثل
الارتفاعات العالية *والعلاج بالأكسجين عالى الضغط*)العلاج
بالأكسجين عند ضغط <1 *ضغط جوى*( )الشكل 22.20(. فى
الارتفاعات العالية، تكون الضغوط الجزئية لجميع الغازات الجوية
أقل. على سبيل المثال، يكون الضغط الجزئى للأكسجين الجوى PO_2
159 مم زئبق عند مستوى سطح البحر ولكنه فقط 110 مم زئبق عند 3000 متر)10000 قدم(.
تكون تدرجات الأكسجين O_2 من الهواء إلى الدم أقل تناسبياً،
لذا كما يمكننا التنبؤ من قانون هنرى، يقل انتشار الأكسجين O_2 إ
لى الدم. فى المقابل، فى غرفة الأكسجين عالى الضغط، يتعرض
المريض لضغط أكسجين يتراوح بين 3 إلى 4 ضغط جوى لعلاج حا
لات مثل الغنغرينا)لقتل البكتيريا اللاهوائية(وتسمم أول أكسيد
الكربون)لإزاحة أول أكسيد الكربون من الهيموغلوبين(. يتراوح ال
ضغط الجزئى للأكسجين PO_2 بين 2300 إلى 3000 مم زئبق.
وبالتالى، هناك تدرج حاد جداً فى الضغط الجزئى للأكسجين PO_2 من الحويصلات الهوائية إلى
الدم ويتسارع الانتشار إلى الدم.

- ذوبانية الغازات. تختلف الغازات فى قدرتها على الذوبان فى ا
لماء. ثانى أكسيد الكربون قابل للذوبان بحوالى 20 ضعف الأك
سجين، والأكسجين قابل للذوبان بحوالى ضعف النيتروجين.
على الرغم من أن تدرج الضغط للأكسجين (O_2) أكبر بكثير م
ن ذلك الخاص بثانى أكسيد الكربون (CO_2) عبر الغشاء التن
فسى، يتم تبادل كميات متساوية من الغازين لأن ثانى أكسيد
الكربون أكثر ذوبانًا وينتشر بسرعة أكبر.

- سمك الغشاء. الغشاء التنفسى بين الدم وهواء الحويصلات يبلغ
سمكه فقط 0.5 ميكرومتر فى معظم الأماكن—وهو أقل بك
ثير من قطر خلية الدم الحمراء الواحدة الذى يتراوح بين 7 إلى 8
ميكرومتر. لذلك، لا يشكل عائقًا كبيرًا أمام الانتشار.
)الشكل 22.21أ(. فى حالات القلب مثل فشل البطين الأي
سر، يرتفع ضغط الدم فى الرئتين ويعزز ترشيح الشعيرات الد
موية إلى الأنسجة الصنامة، مما يسبب وذمة وتثخن الأغ
شية التنفسية)مماثل لحالتها فى الالتهاب الرئوى؛
الشكل 22.21ب(. يجب على الغازات أن تقطع مسافة أطول بين الدم والهواء، لذلك لا يمكن
للأكسجين الوصول إلى خلايا الدم الحمراء بسرعة كافية لتحميل الهيموغلوبين بالكامل. فى
هذه الظروف، يكون ضغط الأكسجين الجزئى (PO_2) فى الدم الخارج من الرئتين منخفضًا بشكل غ
ير عادى، بينما يكون ضغط ثانى أكسيد الكربون الجزئى (PCO_2) مرتفعًا.

- مساحة الغشاء. فى حالة الصحة الجيدة، يحتوى كل رئة على حوالى 70
مترًا مربعًا من الغشاء التنفسى المتاح لتبادل الغازات. وبما أن الشع
يرات الدموية الحويصلية تحتوى على إجمالى 100 مل فقط من ا
لدم فى أى وقت، فإن هذا الدم يكون موزعًا بشكل رقيق جدًا.
ومع ذلك، تقلل عدة أمراض رئوية من مساحة سطح الحويصلات وبالتالى تؤد
ى إلى انخفاض ضغط الأكسجين الجزئى فى الدم (PO_2)—على سبيل المثال
، النفاخ الرئوى)الشكل 22.21ج(وسرطان الرئة.

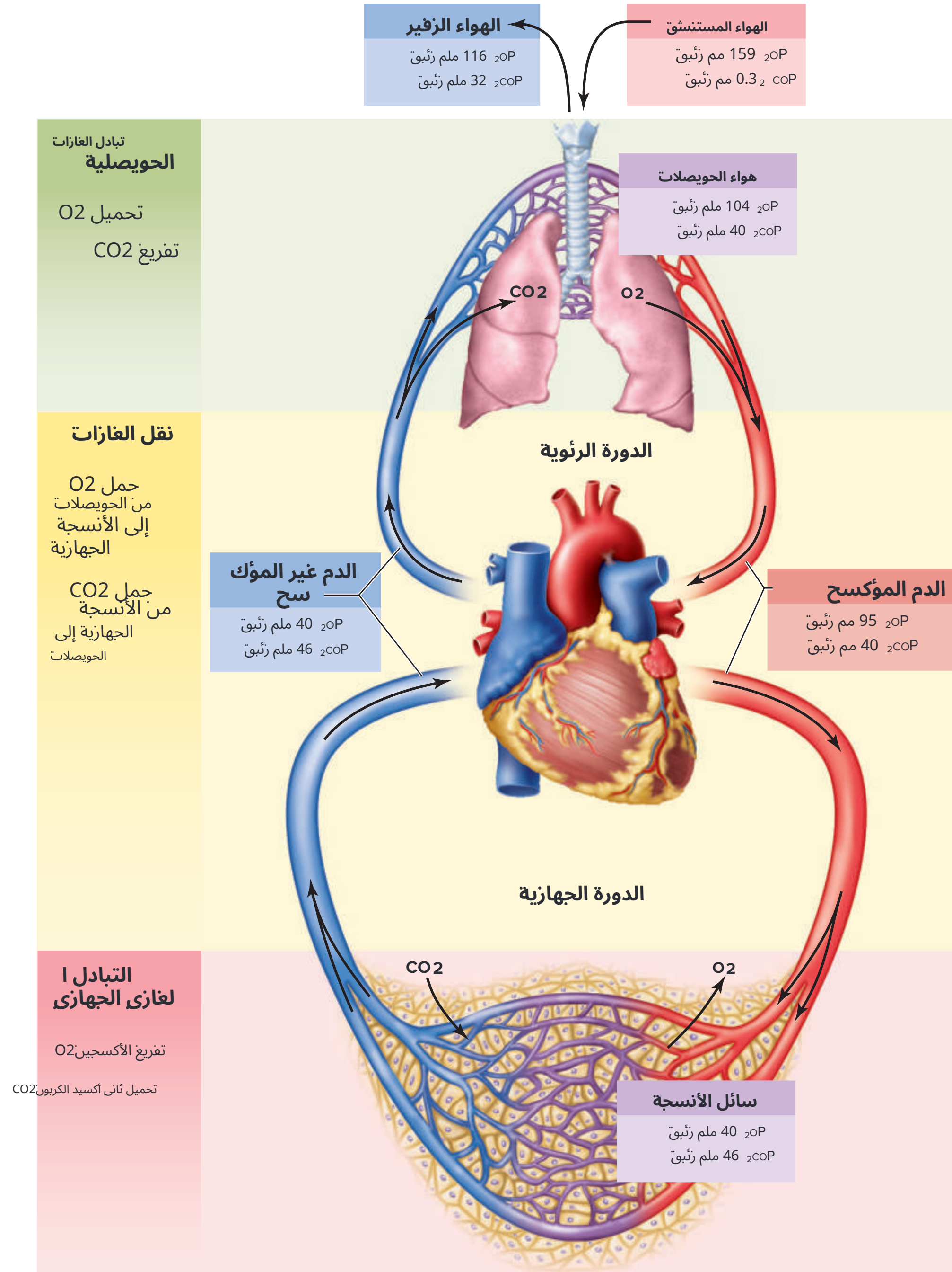
- الاقتران بين التهوية والتروية. يتطلب تبادل الغازات ليس فق
ط تهوية جيدة للحويصلات ولكن أيضًا تروية جيدة لشعيراتها الد
موية. يشير الاقتران بين التهوية والتروية إلى الاستجابات الف
سيولوجية التى تطابق تدفق الهواء مع تدفق الدم والعكس
صحيح. على سبيل المثال، إذا كانت جزء من الرئة مهواة بشك
ل سىء بسبب تدمير الأنسجة أو انسداد مجرى الهواء، فسيكو
ن من غير المجدى توجيه الكثير من الدم إلى تلك المنطقة.
تؤدى التهوية السيئة إلى انخفاض ضغط الأكسجين الجزئى (PO_2)
فى تلك المنطقة من الرئة. وهذا يحفز تضيق الأوعية المحلية،
معيدًا توجيه الدم إلى مناطق مهواة بشكل أفضل فى الرئة ح
يث يمكنه التقاط المزيد من الأكسجين)الجانب الأيسر م
ن الشكل 22.22أ(. بالمقابل، تؤدى زيادة التهوية إلى رفع ضغ
ط الأكسجين الجزئى المحلى (PO_2) وهذا يحفز توسع الأوعية، مما
يزيد من تدفق الدم إلى تلك المنطقة للاستفادة من توفر الأك
سجين)الجانب الأيمن من نفس الشكل(. هذه التفاعلات ف
ى الشرايين الرئوية عكس تفاعلات الشرايين الجهازية، التى ت
توسع استجابة لنقص الأكسجة.
علاوة على ذلك، تؤدى التغيرات فى تدفق الدم إلى منطقة من ا
لرئة إلى تحفيز تضيق أو توسع الشعب الهوائية، مما يضبط ال
تهوية بحيث يتم توجيه الهواء إلى أفضل المناطق المروية فى الرئة
)الشكل 22.22ب(.

22.3ح نقل الغازات

نقل الغازات هو عملية حمل الغازات من الحويصلات الهوائية إلى الأن
سجة الجهازية والعكس. يشرح هذا القسم كيف يقوم الدم بالتقاط، ونق
ل، وإطلاق الأكسجين O_2 وثانى أكسيد الكربون CO_2

الأكسجين

يحمل الدم الشريانى حوالى 20 مل من الأكسجين لكل ديسيلتر.
يرتبط حوالى 98.5% منه بالهيموغلوبين فى خلايا الدم الحمراء ويذوب 1.5% فى بلازما الدم. الهيموغلوبين متخصص فى نقل الأكسجين. يتكو
ن من أربع سلاسل بروتينية)جلوبين(كل منها يحتوى على مجموعة هيم واحدة)انظر الشكل 18.5(. يمكن لكل مجموعة هيم ربط جزىء واحد م
ن O_2 مع أيون الحديد الثنائى (Fe^{2+}) فى مركزها؛ وبالتالى، يمكن لجزىء الهيموغلوبين الواحد حمل ما يصل إلى 4 جزيئات O_2. إذا تم ربط جزى
ء أو أكثر من O_2 بالهيموغلوبين، يُسمى المركب أوكسيهيموغلوبين (HbO_2)، بينما الهيموغلوبين الذى لا يرتبط به الأكسجين يسمى ديأوكسيه
يموغلوبين (HHb). عندما يكون الهيموغلوبين مشبعًا بنسبة 100%، يحمل كل جزىء منه 4 جزيئات O_2؛ وإذا كان مشبعًا بنسبة 75%، يكون هناك متوسط 3 جزيئات O_2 لكل جزىء هيموغلوبين؛

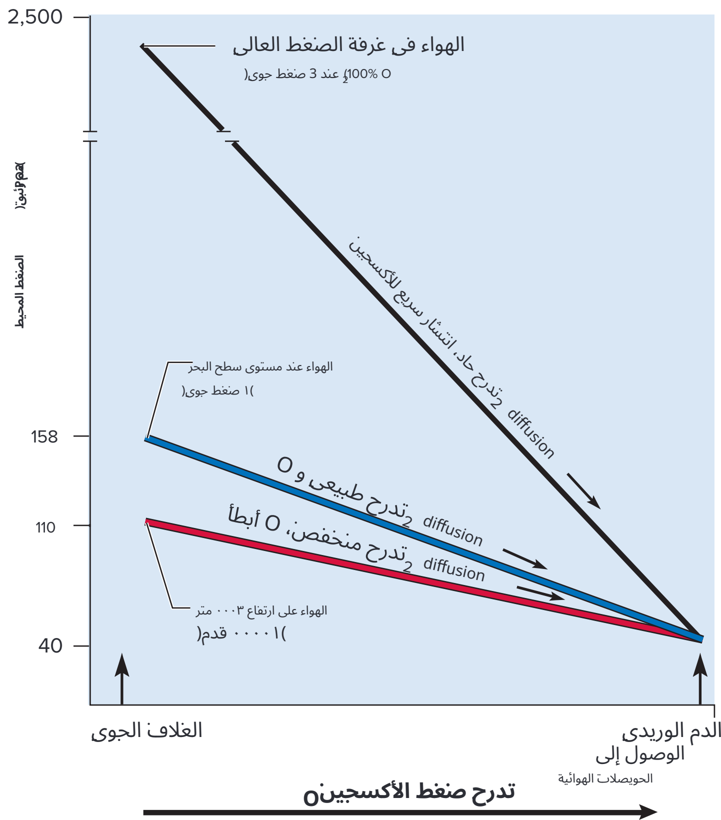


APR الشكل ٩١.٢٢ التغيرات فى ضغط جزئى الأكسجين (PO_2) وضغط جزئى ثانى أكسيد الكربون (PCO_2) على طول مسار الدورة الدموية.

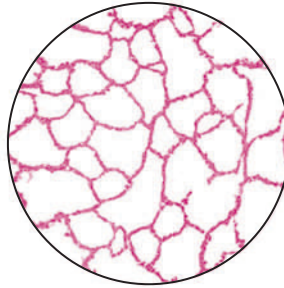
تتبع الضغط الجزئى للأكسجين من الهواء المستنشق إلى الهواء الزفير وشرح كل تغير فى PO_2 على طول الطريق. قم بنفس الشيء بالنسبة لـ PCO_2.

يكون هناك متوسط 3 جزيئات O_2 لكل جزيء هيموغلوبين؛ إذا كانت نسبة التشبع ٥٠٪، فهناك متوسط ٢ جزيء أكسجين (O_2) لكل هيموغلوبين؛ وهكذا. ينبع التأثير السام لأول أكسيد الكربون من تنافسه على موقع ارتباط الأكسجين (O_2) (انظر التعمق ٤.٢٢).

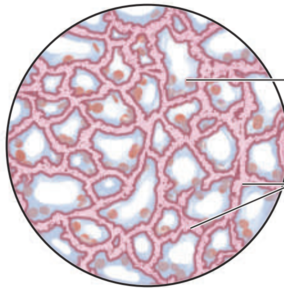
يمكن لجزيء الهيموغلوبين حمل ما يصل إلى 4 جزيئات O_2 إذا تم ربط جزيء أو أكثر من O_2 بالهيموغلوبين، يُسمى المركب أوكسيهيموغلوبين (HbO_2)، بينما الهيموغلوبين الذى لا يرتبط به الأكسجين يسمى ديأوكسيهيموغلوبين (HHb). عندما يكون الهيموغلوبين مشبعًا بنسبة 100%، يحمل كل جزيء منه 4 جزيئات O_2؛ إذا كان مشبعًا بنسبة 75%



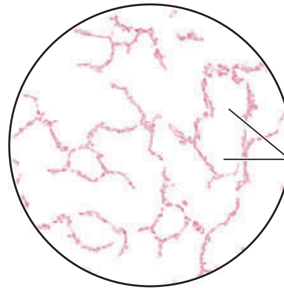
الشكل 22.20 تحميل الأكسجين بالنسبة لتدرج الضغط الجزئى. تعتمد سرعة التحميل على حدة
التدرج من هواء الحويصلات الهوائية إلى الدم الوريدى القادم إلى شعيرا
ت الحويصلات الهوائية. بالمقارنة مع تدرج الأكسجين عند مستوى سطح ا
لبحر (فى الوسط، الخط الأزرق)، يكون التدرج أقل حدة عند الارتفاعات ا
لعالية (فى الأسفل، الخط الأحمر) لأن ضغط جزئى الأكسجين (Po_2) فى الغ
لاف الجوى أقل. وبالتالى، يكون تحميل الأكسجين فى الدم الرئوى أبطأ.
فى غرفة الضغط العالى مع 100% أكسجين، يكون التدرج من الهواء إ
لى الدم حادًا جدًا (الخط الأسود العلوى)، ويكون تحميل الأكسجين سريعًا
بالمقابل. هذا توضيح لقانون هنرى وله تأثيرات مهمة فى الغوص، الطيران،
تسلق الجبال، وعلاج الأكسجين.



(أ) طبيعى



(ب) التهاب رئوى



(ح) انتفاخ الرئة

الشكل 22.21 الحويصلات الرئوية فى الصحة والمرض.
(أ) فى الرئة السليمة، تكون الحويصلات صغيرة ولها أغشية تنفسية رقيقة. (
ب) فى الالتهاب الرئوى، تكون الأغشية التنفسية (جدران الحويصلات) سمي
كة بسبب الوذمة، وتحتوى الحويصلات على سوائل وخلايا دم. (ح) فى النفاخ
الرئوى، تتحلل أغشية الحويصلات وتنضم الحويصلات المجاورة لتشك
ل حويصلات أكبر وأقل عددًا مع مساحة سطح كلية أقل.

تُظهر العلاقة بين تشبع الهيموغلوبين وضغط الأكسجين الجوى الم
نخفض (PO_2) من خلال منحنى تفكك الأوكسيهيموغلوبين (الشكل 22
.23). كما ترى، ليست علاقة خطية بسيطة.

عند انخفاض ضغط الأكسجين (PO_2)، يرتفع المنحنى ببطء؛ ثم تحدث
زيادة سريعة فى تحميل الأكسجين مع ارتفاع ضغط الأكسجين أكثر. ه
ذا يعكس طريقة تحميل الهيموغلوبين للأكسجين. عندما يرتبط أول م
جموعة هيم بـ O_2 يتغير شكل الهيموغلوبين بطريقة تسهل امتصاص
مجموعة الهيم الثانية لـ O_2 وهذا بدوره يعزز امتصاص المجموعة ال
ثالثة ثم الرابعة من O_2 — ومن هنا الجزء الأوسط من المنحنى الذى ير
تفع بسرعة. عند مستويات عالية من ضغط الأكسجين (PO_2)، يستقر ا
لمنحنى لأن الهيموغلوبين يقترب من تشبع 100% ولا يمكنه تحميل ا
لمزيد من الأكسجين.

▶▶▶ طبق ما تعرفه

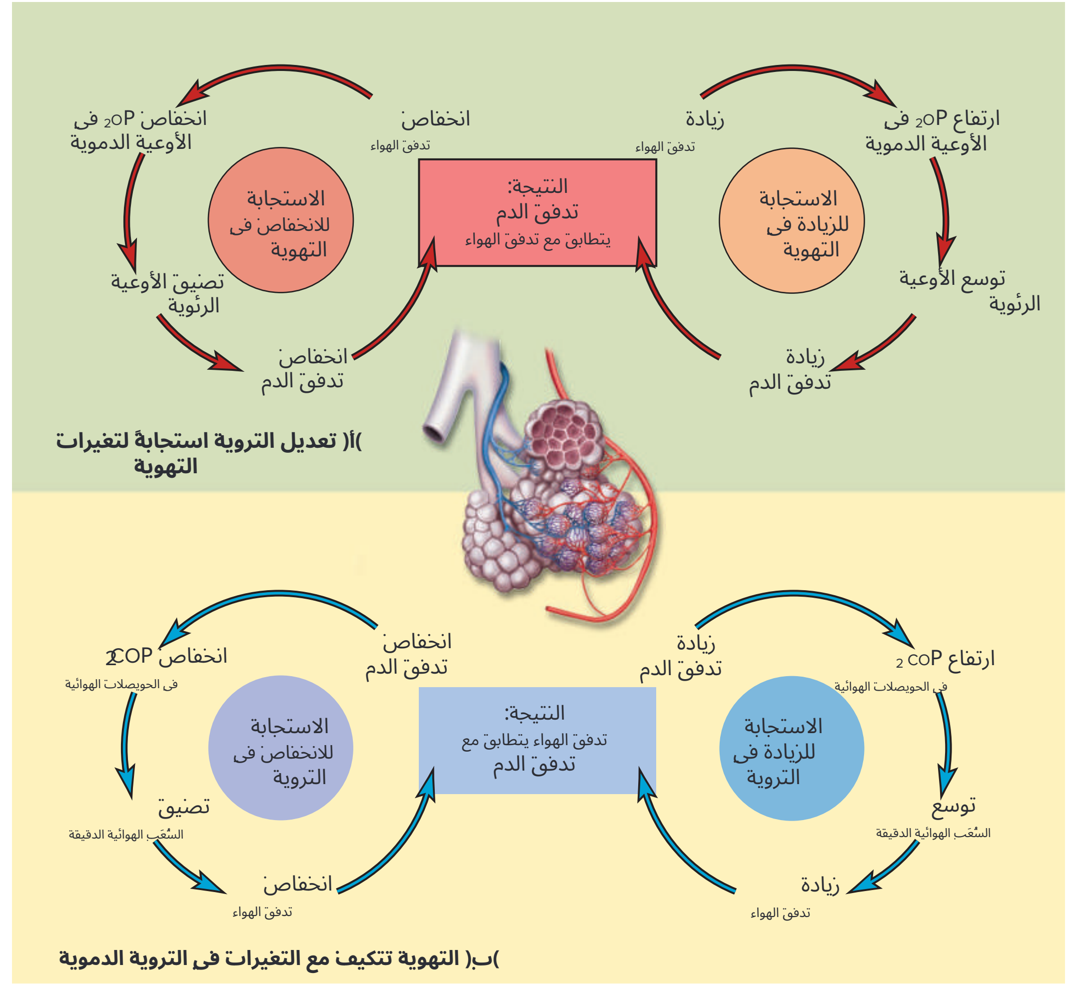
هل تحميل الأكسجين هو عملية تغذية راجعة إيجابية أم سلبية؟ ف
سّر.

نظرة أعمق 22.4

تطبيق سريرى

تسمم أول أكسيد الكربون

التأثير القاتل لأول أكسيد الكربون (CO) معروف جيدًا. هذا الغاز عديم اللونوعدم الر
ائحة يوجد فى دخان السجائر وعادم المحركات وأبخرةأفران الغاز ومدافئ الفضاء.
يرتبط بالحديد فى الهيموغلوبينلتكوينكربوكسى هيموغلوبين (HbCO). وبالتالى،
يتنافس مع الأكسجين علىنفس موقع الارتباط. ليس ذلك فحسب، بل يرتبط بقوة
تفوق الأكسجين بمقدار 210 مرات.لذا، يميل أول أكسيد الكربون إلى ربط الهيمو
غلوبين لفترة طويلة. أقل من1.5% من الهيموغلوبين مشغول بأول أكسيد الكربون
فى معظم غير المدخنين، لكن هذه النسبة ترتفع إلى 3% فى سكان المدن الملو
ثة بشدة و10% فى المدخنين الشديدين. تركيز جوىبنسبة 0.1% من أول أكسيد ال
كربون يكفى لربط 50% من هيموغلوبين الشخص، وتركيز 0.2% يكون قاتلًا بسرع
ة.



الشكل 22.22 الاقتران بين التهوية والتروية. حلقات التغذية الراجعة ال سلبية تضبط تدفق الهواء وتدفق الدم بما يتناسب مع بعضهما البعض.)أ(يم كن تعديل دوران الدم ليتناسب مع التهو ية فوق أو تحت المعدل الطبيعى لجزء م ن الرئة.)ب(يمكن تعديل التهوية لتتنا سب مع دوران الدم فوق أو تحت المعد ل الطبيعى لجزء من الرئة.

النسب النسبية لثانى أكسيد الكربون CO_2 المتبادلة بين الدم \وا لهواء الحويصلى تختلف عن النسب المذكورة سابقًا. حوالى 70% من CO_2 المتبادل يأتى من حمص الكربونيك، و23% من مركبات الكار بامينو، و7% من الغاز المذاب.

أى أن الدم يتخلى عن غاز CO_2 المذاب وCO_2 من مركبات الكاربامين و بسهولة أكبر من تخليه عن CO_2 فى البيكربونات.

22.3د تبادل الغازات الجهازية

تبادل الغازات الجهازية هو تفريغ O_2 وتحميل CO_2 فى الشعيرات الدموية الجهازية)انظر الشكل 22.19، الأسفل؛ الشكل 22.24.(

تحميل ثانى أكسيد الكربون

التنفس الهوائى ينتج جزىء من CO_2 مقابل كل O_2 يستهلكه. لذلك ى حتوى سائل الأنسجة على ضغط جزئى مرتفع نسبيًا من CO_2 ويوجد ع ادةً تدرج فى CO_2 من 46 → 40 مم زئبق من سائل الأنسجة إلى الدم. ونتيجة لذلك، ينتشر CO_2 إلى مجرى الدم، حيث يُنقل فى الأشكال ا لثلاثة المذكورة سابقًا. يتفاعل معظمها مع الماء لإنتاج أيونات البيكر بونات)HCO_3^-(وأيونات الهيدروجين)H^+(. تحدث هذه التفاعل ببطء فى بلازما الدم ولكنه أسرع بكثير فى كريات الدم الحمراء، حيث يحفزه الإنزيم الكربونيك أنهيدراز. مصاد النقل المسمى مبادل الكلوريد-ال بيكربونات

ثانى أكسيد الكربون

ينقل ثانى أكسيد الكربون بثلاثة أشكال: حمص الكربونيك، مركبات ال كاربامينو، والغاز المذاب.

1. حوالى 90% من ثانى أكسيد الكربون CO_2 يتم ترطيبه)يتفاعل مع الماء(لتكوين حمص الكربونيك، الذى يتحلل بعد ذلك إلى بيكربونات \ وأيونات الهيدروجين:

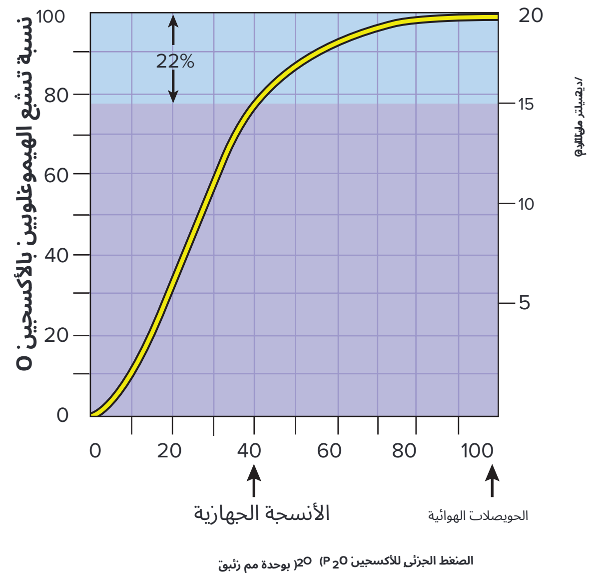


$$CO_2 + H_2O \longrightarrow H_2CO_3 \longrightarrow HCO_3^- + H^+.$$

سيتم التحدث أكثر عن هذا التفاعل قريبًا.

2. حوالى 5% يرتبط بالمجموعات الأمينية لبروتينات البلازما و الهيموغلوبين لتكوين مركبات الكاربامينو—وخاصة كاربامينو هيموغلوبين)$HbCO_2$(. يمكن تمثيل التفاعل مع الهيموغلوبين بالمعادلة $Hb + CO_2 \longrightarrow HbCO_2$ لا يتنافس ثانى أكسيد ا لكربون مع الأكسجين لأن CO_2 وO_2 يرتبطان بمواقع مختل فة على جزىء الهيموغلوبين—الأكسجين يرتبط بمجموعة الهيم وCO_2 بسلاسل البولى ببتيد. لذلك يمكن للهيموغلوبين نقل كل من O_2 وCO_2 فى نفس الو قت. كما سنرى، مع ذلك، كل غاز يعيق إلى حد ما نقل الآ خر.

3. النسبة المتبقية من 5% من CO_2 يتم حملها فى الدم كغاز مذاب، مثل CO_2 فى النبيذ الفوار والمشروبات الغازية.



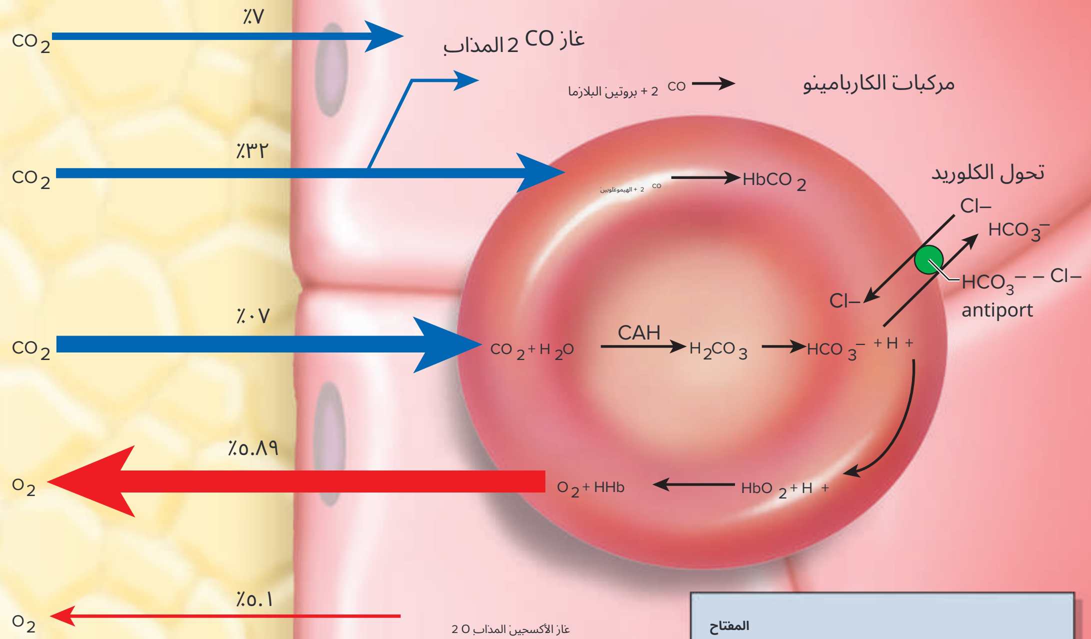
الشكل 22.23 منحنى تفكك الأوكسيهيموغلوبين. يُظهر هذا المنحنى كمية الهيموغلوبين المشبعة بالأكسجين (المحور-y) كدالة لضغط الأكسجين الجزئي المحيط (المحور-x). عند مروره عبر الشعيرات الدموية الحويصلية حيث يكون Po_2 مرتفعًا، يصبح الهيموغلوبين مشبعًا بالأكسجين. وعند مروره عبر الشعيرات الدموية الجهازية حيث يكون Po_2 منخفضًا، فإنه عادة ما يتخلى عن حوالي 22% من أكسجينه (شريط اللون في أعلى الرسم البياني). تُسمى هذه النسبة معامل الاستخدام.

ما هو معامل الاستخدام التقريبي إذا كانت أنسجة الجهازية تحتوى على Po_2 بقيمة 30 مم زئبق؟

ثم يضخ معطم HCO_3^- خارج خلايا الدم الحمراء مقابل Cl^- من بلازما الدم. يُسمى هذا التبادل بتحول الكلوريد. يرتبط معطم H^+ بالهيموغلوبين أو الأوكسيهيموغلوبين، مما يعمل على تنظيم الرقم الهيدروجيني داخل الخلية.

إطلاق الأكسجين

عندما يرتبط H^+ بالأوكسيهيموغلوبين (HbO_2)، فإنه يقلل من تقارب الهيموغلوبين للأكسجين (O_2) ويميل إلى جعل الهيموغلوبين يطلقه. استهلاك الأكسجين بواسطة الأنسجة التنفسية يحافظ على PO_2 للأنسجة



الشكل 22.24 تبادل الغازات الجهازية. الأسهم الزرقاء تُظهر الآليات الثلاث لتحميل CO_2 ونقله؛ سمكها يمثل الكميات النسبية من CO_2 المحملة في كل من الأشكال الثلاثة. الأسهم الحمراء تُظهر الآليتين لتفريغ O_2؛ سمكها يشير إلى الكميات النسبية التي تم تفريغها بواسطة كل آلية. لاحظ أن تحميل CO_2 يُطلق أيونات الهيدروجين في كريات الدم الحمراء، وأيونات الهيدروجين تعزز تفريغ O_2

عندما يحمل الهيموغلوبين الأكسجين، تنخفض أفرته لأيونات الهيدروجين (H^+). تنفصل أيونات الهيدروجين عن الهيموغلوبين وترتبط بأيونات البيكربونات (HCO_3^-) التى تُنقل من البلازما إلى خلايا الدم الحمراء. تُنقل أيونات الكلوريد مرة أخرى خارج خلايا الدم الحمراء (تحول الكلوريد العكسى). يعكس تفاعل H^+ وHCO_3^- تفاعل الترطيب وينتج ثانى أكسيد الكربون الحر (CO_2). ينتشر هذا الغاز إلى الحويصلة الهوائية ليتم زفيره — وكذلك ثانى أكسيد الكربون المنطلق من الكاربامينوهيموغلوبين وثانى أكسيد الكربون المذاب فى البلازما.

22.3f التكيف مع الاحتياجات الأيضية للأنسجة

لا يفرغ الهيموغلوبين نفس كمية الأكسجين لجميع الأنسجة. بعض الأنسجة تحتاج إلى المزيد وبعضها أقل، اعتمادًا على حالة نشاطها. يستجيب الهيموغلوبين لهذه التغيرات ويفرغ المزيد من الأكسجين للأنسجة التى تحتاجه أكثر. فى العضلات الهيكلية أثناء التمرين، على سبيل المثال، قد تصل نسبة الاستخدام إلى 80%. هناك أربعة عوامل تضبط معدل تفريغ الأكسجين وفقًا لمعدلات الأيض فى الأنسجة المختلفة:

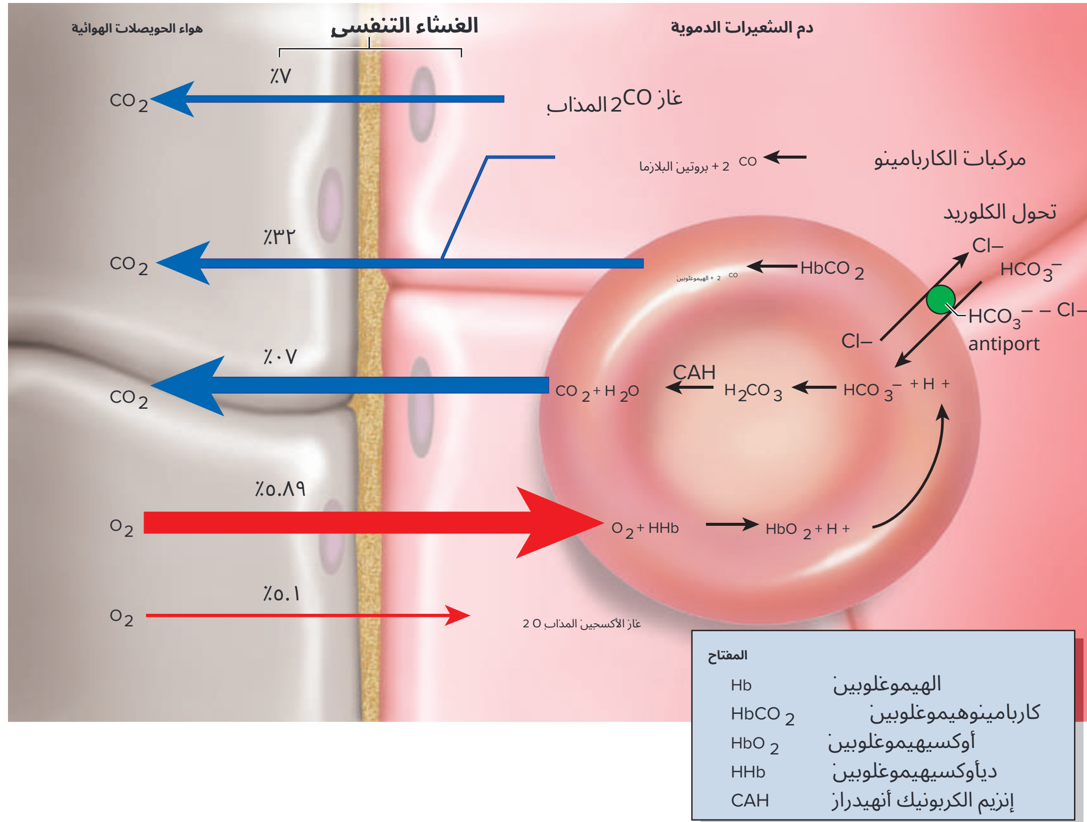
1. ضغط الأكسجين المحيط (Po_2) نظرًا لأن النسيج النشط يستهلك الأكسجين بسرعة، يبقى ضغط الأكسجين فى سائل النسيج منخفضًا. من

السائل منخفض نسبيًا، لذلك يوجد عادةً تدرج ضغط حوالى 95 → 40 ملم زئبق من الدم الشريانى إلى سائل الأنسجة. وبالتالى، ينتشر الأكسجين المُحرر—إلى جانب بعض الأكسجين الذى كان محمولًا كغاز مذاب فى البلازما—من الدم إلى سائل الأنسجة.

عندما يصل الدم إلى الشعيرات الدموية الجهازية، تكون تركيزات الأكسجين حوالى 20 مل/ديسيلتر ويكون الهيموغلوبين مشبعًا بنسبة حوالى 97%. وعندما يغادر الشعيرات الدموية فى نسيج راكد نموذجى، يكون تركيز الأكسجين حوالى 15.6 مل/ديسيلتر ويكون الهيموغلوبين مشبعًا بنسبة حوالى 75%. وبالتالى، يكون قد تخلّص من 4.4 مل/ديسيلتر—أى حوالى 22% من حمله من الأكسجين. تُسمى هذه النسبة معامل الاستخدام (انظر الشكل 22.23). الأكسجين المتبقى فى الدم بعد مروره عبر شبكة الشعيرات الدموية يوفر احتياطى وريدى من الأكسجين، يمكنه دعم الحياة لمدة 4 إلى 5 دقائق حتى فى حالة توقف التنفس. فى حالة الراحة، يفرغ الجهاز الدورى الأكسجين إلى الأنسجة بمعدل إجمالى حوالى 250 مل/دقيقة.

22.3e إعادة النظر فى تبادل الغازات الحويصلية

العمليات الموضحة فى الشكل 22.24 تسهل فهم تبادل الغازات فى الحويصلات الهوائية بشكل أكثر شمولًا. كما هو موضح فى الشكل 22.25، التفاعلات التى تحدث فى الرئتين هى فى الأساس عكس تبادل الغازات النظامى.



الشكل 22.25 تبادل الغازات فى الحويصلات الهوائية. تمثل ألوان الأسهم وسماكتها نفس المتغيرات كما فى الشكل السابق. لاحظ أن تحميل O_2 يعزز تفكك حمض الكربونيك إلى H_2O وCO_2، وأن معظم ثانى أكسيد الكربون المزفر يأتى من كريات الدم الحمراء.

فى أى جانب أساسى يختلف هذا عن الشكل السابق؟ بعد تبادل الغازات فى الحويصلات الهوائية، هل سيحتوى الدم على تركيز أعلى أم أقل من أيونات البيكربونات مقارنة بما كان عليه من قبل؟

منحنى تفكك الأوكسيهيموغلوبين)انظر الشكل 22.23(، يمكنك

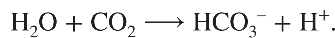
أن ترى أنه عند انخفاض ضغط الأكسجين)P_{O_2}(، يطلق HbO_2 المزيد من الأكسجين.

2. درجة الحرارة. عند ارتفاع درجة الحرارة، يتحرك منحنى تفكك الأ وكسيهيموغلوبين إلى اليمين)الشكل 22.26أ(؛ بمعنى آخر، تعزز درجة الحرارة المرتفعة تحرير الأكسجين. الأنسجة النشطة تكون أكثر دفئًا من الأنسجة الأقل نشاطًا وبالتالى تستخلص المزيد من الأكسجين من الدم الذى يمر بها.

3. درجة الحموضة المحيطة. الأنسجة النشطة تولد أيضًا ثانى أكسيد الكربون الإضافى)CO_2(، مما يرفع تركيز H^+ ويخفض درجة حموضة الدم. أيونات الهيدروجين تضعف الرابطة بين الهيموغلوبين والأكسجين وبالتالى تعزز تحرير الأكسجين — وهو ظاهرة تُسمى تأثير بوه ر [28]. يمكن ملاحظة ذلك أيضًا فى منحنى تفكك الأوكسيهيموغلو بين، حيث يؤدى انخفاض درجة الحموضة إلى تحريك المنحنى إلى اليمين)الشكل 22.26ب(. التأثير أقل وضوحًا عند ارتفاع ضغط ا لأكسجين)P_{O_2}(الموجود فى الرئتين، لذا فإن درجة الحموضة لها تأثير نسبيًا ضئيل على تحميل الأكسجين الرئوى. ومع ذلك، فى ال شعيرات الدموية الجهازية، يكون ضغط الأكسجين)P_{O_2}(أقل و يكون تأثير بوهر أكثر وضوحًا.

4. **BPG.** لا تحتوى كريات الدم الحمراء على ميتوكوندريا وتلبى احتياجاتها الطاقة فقط من خلال التخمر اللاهوائى. أحد الوسائط الأيضية الخاصة بها هو بيسفوسفوجليسرات)BPG(، الذى يرتبط بالهيموغلوبين ويعزز تحرير الأكسجين. درجة حرارة الجسم المرتفعة)كما فى الحمى(تحفز تخليق BP G، وكذلك الثيروكسين، هرمون النمو، التست وستيرون، والإبينفرين. كل هذه الهرمونات تعزز بالتالى تحرير الأكسجين إلى الأنسجة.

يتم أيضًا تعديل معدل تحميل CO_2 وفقًا للاحتياجات المتغيرة للأن سجة. مستوى منخفض من الأوكسيهيموغلوبين)HbO_2(يمكّن الدم م ن نقل المزيد من CO_2 وهى ظاهرة تعرف بتأثير هالدين)Haldane[29](. يحدث هذا لسببين:)1(HbO_2 لا يرتبط بـ CO_2 جيدًا كما يفعل الديوك سيهيموغلوبين)HHb(.)2(HHb يرتبط بعدد أكبر من أيونات الهيدروج ين مقارنة بـ HbO_2 ومن خلال إزالة H^+ من المحلول، يحول HHb تفاع ل حمض الكربونيك إلى اليمين:



$$H_2O + CO_2 \longrightarrow HCO_3^- + H^+.$$

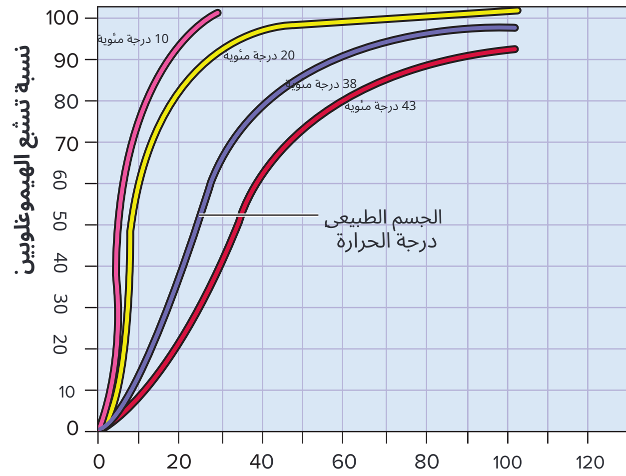
معدل الأيض العالى يحافظ على مستويات الأوكسيهيموغلوبين منخ فضة نسبيًا، وبالتالى يسمح بنقل المزيد من CO_2 عبر هذين الآليتين.

22.3 ح الغازات الدموية وإيقاع ال تنفس

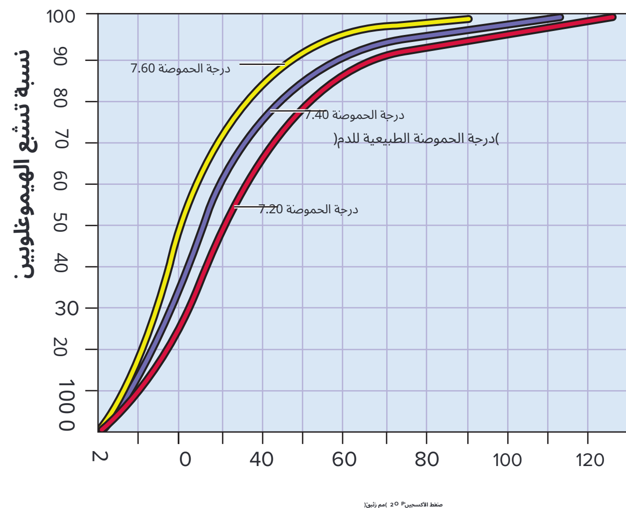
عادةً ما يحتوى الدم الشريانى النظامى على ضغط جزئى للأكسجين)P_{O_2}(يبلغ 95 ملم زئبق، وضغط جزئى لثانى أكسيد الكربون)P_{CO_2}(يبلغ 40 ملم زئبق، ودرجة حموضة)pH(تبلغ 7.40 ± 0.05. يتم تعديل معدل و عمق التنفس للحفاظ على هذه القيم. وهذا ممكن لأن مراكز التنفس ف ى جذع الدماغ تتلقى مدخلات من مستقبلات كيميائية مركزية وطرفية تراقب تركيبة الدم والسائل الدماغى الشوكى، كما وُصف سابقًا فى هذا الفصل. من بين هذه المحفزات الكيميائية الثلاثة، يكون المحفز الأقوى للتنفس هو درجة الحموضة)pH(، تليها CO_2 ومن المدهش أن الأقل أ همية هو O_2.

[82] كريستيان بور)1855–1911(، عالم وظائف الأعضاء الدنماركى

[92] جون سكوت هالدين)1860–1936(، عالم وظائف الأعضاء الاسكتلندى



)أ(تأثير درجة الحرارة



)ب(تأثير الرقم الهيدروجينى)pH(

الشكل 22.26 تأثيرات درجة الحرارة ودرجة الحموضة على تفكك الأوكسيه يموغلوبين.)أ(عند ضغط جزئى معين للأكسجين)P_{O_2}(، يفرح الهيموغلوبين عن المزيد من الأكسجين عند درجات حرارة أعلى.)ب(عند ضغط جزئى معين للأكسجين)P_{O_2}(، يفرح الهيموغلوبين عن المزيد من الأكسجين عند درجة حموضة أقل)تأثير بوهر(.

تتسبب الآليتان فى إفراز الهيموغلوبين المزيد من الأكسجين إلى الأنسجة ذات معدلات الأيض الأعلى.

لماذا من المفيد فسيولوجيًا للجسم أن تتحرك المنحنيات فى الجزء)أ(إل ى اليمين مع زيادة درجة الحرارة؟

أيونات الهيدروجين

فى النهاية، يتم تعديل التهوية الرئوية للحفاظ على درجة حموضة الدما غ. تستقبل المستقبلات الكيميائية المركزية فى النخاع المستطيل حوا لى 75% من التغير فى التنفس الناتج عن تغيرات درجة الحموضة، وم ع ذلك، فإن H^+ لا يعبر حاجز الدم-الدماغ بسهولة. لكن CO_2 يعبر، وبم جرد دخوله إلى السائل الدماغى الشوكى، يتفاعل مع الماء لإنتاج حم ض الكربونيك، الذى ينفصل إلى بيكربونات وأيونات هيدروجين. يحتو ى السائل الدماغى الشوكى على كمية قليلة نسبيًا من البروتينات التى تعمل كعازلة لأيونات الهيدروجين، لذا فإن معظم H^+

قد يحفز ارتفاع مستوى CO_2 فى الدم مستقبلات الكيمياء المحيطية مباشرة ويؤدى إلى زيادة فى التهوية أسرع مما تفعله مستقبلات الكيم ياء المركزية.

الأكسجين

عادةً ما يكون للضغط الجزئى للأكسجين تأثير ضئيل على التنفس. حتى ف ى التنفس الطبيعى)eupnea(، يكون الهيموغلوبين مشبعًا بنسبة لا تقل عن 97% بالأكسجين، لذلك لا يمكن إضافة الكثير بزيادة التهوية الرئوية.
يؤثر الضغط الجزئى للأكسجين الشريانى بشكل كبير على التنفس فقط إذا انخفض إلى أقل من 60 مم زئبق. عند الارتفاعات المنخفضة، نادرًا ما يحدث مثل هذا الا نخفاض حتى مع حبس النفس لفترة طويلة. يحفز الانخفاض المعتدل فى الضغط الجزئى للأكسجين مستقبلات الكيمياء المحيطية، لكن هناك تأثيرًا آخر يتغلب على هذا: مع انخفاض مستوى HbO_2 يرتبط الهيموغلوبين بالمزيد من H+)انظر الش كل 22.24(. هذا يرفع الرقم الهيدروجينى للدم، مما يثبط التنفس ويعادل تأثير انخ فاض الضغط الجزئى للأكسجين.

عند حوالى 10800 قدم)3300 متر(، ينخفض الضغط الجزئى للأكسجي ن الشريانى إلى 60 مم زئبق ويتغلب التأثير المحفز لنقص الأكسجة على أح سام الشريان السباتى على التأثير المثبط لارتفاع الرقم الهيدروجينى. ينتج عن ذلك تنفس ثقيل لدى الأشخاص غير المتأقلمين مع الارتفاعات العالية. يم كن أن يؤدى نقص الأكسجة طويل الأمد إلى حالة تسمى الدفع الناقص للأك سجين ، حيث يكون التنفس مدفوعًا أكثر بانخفاض الضغط الجزئى للأكسج ين منه بـ CO_2 أو الرقم الهيدروجينى. يحدث هذا فى حالات مثل النفاخ الرئو ى والالتهاب الرئوى، التى تعيق تبادل الغازات فى الحويصلات الهوائية، وفى تسلق الجبال لمدة يومين أو ثلاثة على الأقل.

التنفس والتمرين

من المعروف أننا نتنفس بشكل أثقل أثناء التمرين، ومن المغرى الاع تقاد أن ذلك يحدث لأن التمرين يرفع مستويات CO_2 ويخفض الرقم الهيدروجينى للدم، ويخفض مستويات O_2 فى الدم. ومع ذلك، هذا غ ير صحيح؛ تظل كل هذه القيم فى التمرين كما هى فى الراحة. يبدو أن زيادة التنفس لها أسباب أخرى:)1(عندما يرسل الدماغ أوامر حركية إ لى العضلات)عبر الخلايا العصبية الحركية السفلية فى الحبل الشوكى(، فإنه يرسل هذه المعلومات أيضًا إلى مراكز التنفس، فتزيد التهوية ا لرئوية توقعًا لاحتياجات العضلات أثناء التمرين. على عكس التوازن الد اخلى عن طريق التغذية الراجعة السلبية، يُعتبر هذا آلية *تغذية أمامية* ، حيث تُنقل الإشارات إلى المؤثرات)مراكز التنفس فى جذع الدماغ(لإحداث تغيير *توقعًا* للحاجة.)2(يحفز التمرين مستقبلات الإحساس العميق فى العضلات والمفاصل، وتنقل إشارات مثيرة إلى مراكز ال تنفس فى جذع الدماغ. وهكذا، تزيد مراكز التنفس من معدل التنفس لأنها تعلم أن العضلات قد أُمرت بالحركة أو تتحرك فعليًا.الزيادة فى ا لتهوية الرئوية تحافظ على قيم غازات الدم عند مستوياتها الطبيعية ع لى الرغم من ارتفاع استهلاك الأوكسجين)O_2(وتوليد ثانى أكسيد الكر بون)CO_2(بواسطة العضلات.

باختصار، المحفز الكيميائى الرئيسى للتهوية الرئوية هو أيونات الهيدروجين)H^+(فى السائل الدماغى الشوكى وسوائل أنسجة الدماغ. تنشأ هذه الأيونات بشكل رئي سى من ثانى أكسيد الكربون)CO_2(الذى ينتشر إلى السائل الدماغى الشوكى والدماغ ويولد أيونات الهيدروجين)H^+(من خلال تفاعل حمض الكربونيك. لذلك، فإن ضغط جزئى لثانى أكسيد الكربون)P_{CO_2}(فى الدم الشريانى هو قوة دافعة مهمة فى التنفس ، على الرغم من أن تأثيره على مستقبلات الكيمياء يكون غير مباشر. يتم تعديل التهو ية للحفاظ على الرقم الهيدروجينى)pH(الشريانى عند حوالى 7.40 وضغط جزئى لثان ى أكسيد الكربون الشريانى)P_{CO_2}(عند حوالى 40 ملم زئبق. وهذا يضمن تلقائيًا أن ي كون الدم مشبعًا بالأوكسجين بنسبة لا تقل عن 97%.

يبقى حراً، ويحفز بقوة المستقبلات الكيميائية المركزية. كما أن أيونات الهيدروجين تمثل محفزاً قوياً للمستقبلات الكيميائية الطرفية، التى تتوسط حوالى 25% من الاستجابة التنفسية لتغيرات الرقم الهيدروج ينى.
كيف نعلم أن H^+ هو الذى يحفز المستقبلات الكيميائية المركزية وليس بشكل أساسى CO_2 الذى ينتشر إلى السائل الدماغى الشوكى؟
تجريبياً، من الممكن تغيير الرقم الهيدروجينى أو ضغط جزئى ثانى أكسيد الكربون)P_{CO_2}(فى السائل الدماغى الشوكى مع تثبيت المتغير الآخر. عندما يتغير الرقم الهيدرو جينى فقط، يكون هناك تأثير قوى على التنفس؛ وعندما يتغير ضغط ثانى أكسيد الكر بون فقط، يكون التأثير أضعف. لذلك، على الرغم من أن هذين المتغيرين عادةً ما يتغ يران معاً، يمكننا أن نرى أن المستقبلات الكيميائية تستجيب بشكل أساسى لـ H^+.

يُسمى الرقم الهيدروجينى للدم أقل من 7.35 بـالحماض، والرقم الهيدروج ينى أكبر من 7.45 يُسمى القلوية. يتراوح ضغط ثانى أكسيد الكربون الجزئى)P_{CO_2}(فى الدم الشريانى عادةً بين 37 و43 ملم زئبق. يُسمى ضغط ثانى أكسيد ا لكربون الجزئى أقل من 37 ملم زئبق نقص ثانى أكسيد الكربون)hypocapnia(،[30]وهو السبب الأكثر شيوعاً للقلوية. السبب الأكثر شيوعاً للحماض هوفرط ثان ى أكسيد الكربون)hypercapnia(،وهو ضغط ثانى أكسيد الكربون الجزئى أكبر من 43 ملم زئبق. عندما تحدث هذه الاختلالات فى الرقم الهيدروجينى بسبب ع دم تطابق معدل التهوية الرئوية مع معدل إنتاج CO_2 تُسمى الحماض التنفسى و القلوية التنفسية)يتم مناقشتها بشكل أعمق فى القسم 24.3د(.
الاستجابة التصحيحية للتوازن الداخلى لحالة الحماض هى فرط التنفس ، أى "طرد" ثانى أكسيد الكربون بسرعة أكبر من إنتاج الجسم له. مع التخلص من ثانى أكسيد الكربون من الجسم، يتحول تفاعل حمض الكربونيك إلى الى سار:



$$CO_2 + H_2O \longleftarrow H_2CO_3 \longleftarrow HCO_3^- + H^+.$$

لذا، يتم استهلاك H^+ على الجانب الأيمن، ومع انخفاض تركيز H^+، ير تفع الرقم الهيدروجينى ويعود الدم بشكل مثالى من نطاق الحماض إل ى الطبيعى.
الاستجابة التصحيحية للقلوية هى نقص التنفس، الذى يسمح بـ تراكم CO_2 فى سوائل الجسم أسرع مما نزفره. يؤدى نقص التنفس إل ى تحريك التفاعل نحو اليمين، مما يرفع تركيز H+ ويخفض الرقم اله يدروجينى إلى الطبيعى:



$$CO_2 + H_2O \longrightarrow H_2CO_3 \longrightarrow HCO_3^- + H^+.$$

على الرغم من أن تغيرات الرقم الهيدروجينى عادة ما تنتج عن تغيرا ت P_{CO_2} إلا أن لها أسباباً أخرى. فى داء السكرى، على سبيل المثال، يؤد ى أكسدة الدهون السريعة إلى إطلاق أجسام كيتونية حمضية، مما يسبب انخفاضًا غير طبيعى فى الرقم الهيدروجينى يسمى *الحماض الكيتونى* . يم يل الحماض الكيتونى إلى إحداث شكل من ضيق التنفس يسمى *تنفس كوسماول*)انظر الجدول 22.3(. لا يمكن للتنفس السريع تقليل مستوى ا لأجسام الكيتونية فى الدم، ولكن عن طريق زفير CO_2 يقلل من تركيز H+ ا لناتج عن CO_2 ويعوض إلى حد ما عن H^+ الذى تفرزه الأجسام الكيتونية.

ثانى أكسيد الكربون

على الرغم من أن P_{CO_2} الشريانى له تأثير قوى على التنفس، فقد رأينا أنه تأثير غير مباشر ف ى الغالب، يتوسطه تأثيره على الرقم الهيدروجينى لسائل الدماغ الشوكى. ومع ذلك، تظهر ا لأدلة التجريبية التى وُصفت سابقًا أن CO_2 له بعض التأثير حتى عندما يظل الرقم الهيدروج ينى مستقرًا. فى بداية التمرين، قد يحفز ارتفاع مستوى CO_2 فى الدم مستقبلات الكيمياء ا لمحيطية مباشرة ويؤدى إلى زيادة فى التهوية أسرع مما تفعله مستقبلات الكيمياء المركزية.

[30] *capn* = دخان

في الظروف العادية، يكون لضغط الأكسجين الشرياني PO_2 تأثير قليل نسبيًا على التنفس. ولكن عندما ينخفض إلى أقل من 60 مم زئبق، فإنه يحفز المستقبلات الكيميائية الطرفية ويزيد مالتهوية. يمكن أن يكون هذا مهمًا عند الارتفاعات العالية وفي بعض أمراض الرئة. الزيادة في التنفس أثناء التمرين ناتجة عن النشاط المتوقع أو الفعلي للعضلات، وليس عن أي تغير في ضغوط الغازات في الدم أو الرقم الهيدروجيني (pH).

هل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

14. لماذا يختلف تركيب هواء الحويصلات الهوائية عن تركيب الغلاف الجوي؟
15. ما هي العوامل الأربعة التي تؤثر على كفاءة تبادل الغازات في الحويصلات الهوائية؟
16. اشرح كيف يتغير تدفق الدم في الفصيص الرئوي إذا كان التهوية ضعيفة.
17. كيف يتم نقل معظم الأكسجين في الدم، ولماذا يتداخل أول أكسيد الكربون مع هذا النقل؟
18. ما هي الطرق الثلاث التي ينقل بها الدم ثاني أكسيد الكربون (CO_2)؟
19. اذكر سببين يفسران لماذا يمكن للأنسجة النشطة جدًا استخراج المزيد من الأكسجين من الدم مقارنة بالأنسجة الأقل نشاطًا.
20. عرّف نقص ثاني أكسيد الكربون في الدم (hypocapnia) و فرط ثاني أكسيد الكربون في الدم (hypercapnia). سمِّ اختلالات الرقم الهيدروجيني التي تنتج عن هذه الحالات وشرح العلاقة بين ضغط ثاني أكسيد الكربون الجزئي (Pco_2) و الرقم الهيدروجيني (pH).
21. ما هو أقوى محفز كيميائي للتنفس، وأين تقع أكثر المستقبلات الكيميائية فعالية له؟
22. اشرح كيف يمكن لتغيرات التهوية الرئوية أن تصحح اختلالات الرقم الهيدروجيني.

22.4 الاضطرابات التنفسية

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف أشكال وتأثيرات نقص الأكسجين و فرط الأكسجين؛

ب. وصف أمراض الرئة الانسدادية المزمنة وتبعاتها؛ و

ج. شرح كيف يبدأ سرطان الرئة، ويتطور، ويُحدث آثاره القاتلة.

الرئتان الرقيقتان معرضتان لمجموعة واسعة من الممرضات والفتات المستنشق، لذلك ليس من المستغرب أنهما عرضتان للعديد من الأمراض. تم ذكر العديد منها بالفعل في هذا الفصل وبعضها الآخر موصوف بإيجاز في الجدول 22.5. تُناقش تأثيرات التقدم في العمر على الجهاز التنفسي في الفصل 29.

22.4a اختلالات الأوكسجين

نقص التأكسج (Hypoxia) هو نقص الأوكسجين في نسيج أو عدم القدرة على استخدام الأوكسجين. ليس مرضًا تنفسيًا بحد ذاته ولكنه غالبًا ما يكون نتيجة لأمراض تنفسية. يصنف نقص التأكسج حسب السبب:

- نقص التأكسج الناجم عن نقص الأوكسجين في الدم (Hypoxemic hypoxia)، وهو حالة انخفاض ضغط الأوكسجين الشرياني (PO_2)، يحدث عادة بسبب عدم كفاية تبادل الغازات الرئوي. بعض أسبابه الجذرية تشمل نقص الأوكسجين في الغلاف الجوي على ارتفاعات عالية؛ ضعف التهوية، كما في الغرق أو استنشاق أجسام غريبة؛ توقف التنفس؛ وأمراض الرئة التنكسية. كما يحدث أيضًا في تسمم أول أكسيد الكربون، الذي يمنع الهيموغلوبين من نقل الأوكسجين.
- نقص التأكسج الإقفاري (Ischemic hypoxia) ينتج عن ضعف الدورة الدموية التي تفشل في توصيل الأوكسجين إلى الأنسجة، كما في فشل القلب الاحتقاني.
- نقص التأكسج الناتج عن فقر الدم (Anemic hypoxia) يرجع إلى فقر الدم وعدم قدرة الدم على حمل كمية كافية من الأوكسجين.
- يحدث نقص التأكسج النسيجي (Histotoxic hypoxia) عندما يمنع سم أيضي مثل السيانيد الأنسجة من استخدام الأكسجين الذي يتم توصيله إليها.

نقص الأكسجة غالبًا ما يتميز بالزرقة، زرقة الجلد. مهما كان السبب، فإن الخطر الأساسي هو نخر الأنسجة التي تعاني من نقص الأكسجين.هذا أمر بالغ الأهمية خاصة في الأعضاء ذات الطلب الأيضي الأعلى، مثل الدماغ والقلب والكلى.

زيادة الأكسجين أيضًا خطيرة. من الآمن تنفس100% أكسجين عند ضغط جوي واحد لمدة عدة ساعات، لكن تسمم الأكسجين يتطور بسرعة عند تنفس الأكسجين النقي بضغط 2.5 ضغط جوي أو أكثر. الأكسجين الزائد يولد بيروكسيد الهيدروجين والجذور الحرة التي تدمر الإنزيمات وتتلف الأنسجة العصبية؛ وبالتالي، يمكن أن يؤدي إلى نوبات صرع، غيبوبة، والموت. لهذا السبب يتنفس الغواصون مزيجًا من الأكسجين والنيتروجين بدلاً من الأكسجين المضغوط النقي(انظر التعمق 22.5). كان الأكسجين عالي الضغط يُستخدم سابقًا لعلاج الأطفال الخدج الذين يعانون من متلازمة ضيق التنفس، لكنه تسبب في تدهور الشبكية وعمى العديد من الأطفال قبل أن يتم إيقاف هذا الاستخدام.

22.4ب الأمراض الرئوية الانسدادية المزمنة

تعرف الأمراض الرئوية الانسدادية المزمنة (COPDs) بأنها انسداد طويل الأمد في تدفق الهواء وانخفاض كبير في التهوية الرئوية. الأمراض الرئيسية ضمن COPD هي التهاب الشعب الهوائية المزمن و النفاخ الرئوي. تعد COPD من الأسباب الرئيسية للوفاة بين البالغين في الولايات المتحدة. وهي ناجمة تقريبًا دائمًا عن تدخين السجائر، ولكنها أحيانًا تنتج عن تلوث الهواء، التعرض المهني للمهيجات المحمولة جواً، أو عيب وراثي. يعاني معظم مرضى COPD من مزيج من التهاب الشعب الهوائية المزمن والنفاخ الرئوي، لكن غالبًا ما يسود أحدهما على الآخر.

التهاب الشعب الهوائية المزمن هو التهاب شديد ومستمر في الجهاز التنفسي السفلي. تتضخم خلايا الكأس في مخاطية الشعب الهوائية وتفرز مخاطًا زائدًا، وفي الوقت نفسه، تتوقف الأهداب عن الحركة ولا تستطيع التخلص منه. يتراكم المخاط السميك والراكد في الرئتين ويوفر وسطًا لنمو البكتيريا. علاوة على ذلك، يدمر دخان التبغ الأكياس الهوائية (الحويصلات الهوائية).

بعض اضطرابات الجهاز التنفسى	الجدول 22.5
نزلة البرد الشائعة. يسببها العديد من أنواع الفيروسات التى تصيب الجهاز التنفسى العلوى. تشمل الأعراض الاحتقان، زيادة إفرازات الأنف، العطس، والسعال الجاف. ينتقل بشكل خاص عن طريق ملامسة الأيدى الملوثة للأغشية المخاطية؛ ولا ينتقل عن طريق الفم.	التهاب الأنف الحاد
التهاب رئوى حاد وإصابة الحويصلات الهوائية ناتجة عن الصدمات، العدوى، الحروق، استنشاق القىء، استنشاق الغازات السامة، جرعات زائدة من الأدوية، وأسباب أخرى. يصاحب إصابة الحويصلات وذمة رئوية شديدة ونزيف، تليها تليفات تدمر نسيج الرئة تدريجياً. تكون مميتة فى حوالى 40% من الحالات تحت سن 60 و60% من الحالات فوق سن 65.	متلازمة الضائقة التنفسية لدى البالغين
عدوى فى الجهاز التنفسى السفلى تسببها عدة فيروسات أو فطريات أو طفيليات، ولكن فى الغالب البكتيريا *Streptococcus pneumoniae*. تسبب امتلاء الحويصلات الهوائية بالسوائل وكريات الدم البيضاء الميتة وتثخين الغشاء التنفسى، مما يعيق تبادل الغازات ويسبب نقص الأكسجة. تشكل خطراً خاصاً على الرضع، كبار السن، والأشخاص ذوى المناعة الضعيفة، مثل مرضى الإيدز واللوكيميا.	الالتهاب الرئوى
توقف التنفس لمدة 10 ثوانٍ أو أكثر أثناء النوم؛ يحدث أحياناً مئات المرات فى الليلة، غالباً يرافقه اضطراب فى النوم ويتناوب مع الشخير. قد ينتج عن خلل فى مراكز التنفس فى الجهاز العصبى المركزى، انسداد مجرى الهواء، أو كلاهما. مع مرور الوقت، قد يؤدى إلى النعاس أثناء النهار، نقص الأكسجة، كثرة الحمر، ارتفاع ضغط الدم الرئوى، فشل القلب الاحتقانى، واضطراب نظم القلب. أكثر شيوعاً بين الأشخاص الذين يعانون من السمنة والرجال.	توقف التنفس أثناء النوم
عدوى رئوية بالبكتيريا المتفطرة السلية، التى تغزو الرئتين عن طريق الهواء أو الدم أو اللمف. تحفز الرئة على تكوين عقيدات ليفية تسمى العقيدات حول البكتيريا. يؤدى التليف التدريجى إلى تقليل المرونة والتهوية فى الرئتين ويسبب نزيفًا رئويًا عند غزو الأوعية الدموية. شائع بشكل خاص بين الفقراء والمشردين وبين المصابين بالإيدز.	السل (TB)
يمكنك العثور على اضطرابات أخرى فى الجهاز التنفسى موصوفة فى الأماكن التالية:	
التليف الكيسى فى التعمق 3.2؛ ارتفاع ضغط الدم الرئوى والوذمة الرئوية فى القسم 19.5د؛ القلب الرئوى فى الأقسام 19.6د و22.4ب؛ الربو فى التعمق 21.3؛ لعنة أوندين فى التعمق 22.2؛ استرواح الصدر و انخماص الرئة فى القسم 22.2ح؛ انقطاع التنفس، ضيق التنفس، التنفس الأرثوبنى، فرط التنفس، تسرع التنفس، فرط التنفس ونقص التهوية، تنفس كوسماول، وتوقف التنفس فى الجدول 22.3؛ تسمم أول أكسيد الكربون فى التعمق 22.4؛ نقص الأكسجة، أمراض الانسداد الرئوى المزمن (الانتفاخ الرئوى والتهاب الشعب الهوائية المزمن)، وسرطان الرئة فى القسم 22.4؛ مرض تخفيف الضغط فى التعمق 22.5؛ الحماض التنفسى والقلوية التنفسية فى القسم 24.3د؛ ومتلازمة ضيق التنفس عند الرضع فى القسم 29.3ب.	

الأشخاص المصابون بالانتفاخ الرئوى لا يظهرون بالضرورة الزرقة التى تميز التهاب الشعب الهوائية المزمن. يمكن للأشخاص المصابين بالانتفاخ أن يصابوا بالإرهاق والنحافة لأنهم يستهلكون ثلاثة إلى أربعة أضعاف كمية الطاقة الطبيعية لمجرد التنفس. حتى الجهد البدنى الطفيف، مثل المشى عبر الغرفة، يمكن أن يسبب ضيق تنفس شديد.

▶▶▶ طبق ما تعرفه

اشرح كيف يفسر علاقة الطول-التوتر فى العضلات الهيكلية (انظر الشكل 11.12 والنص المرتبط) ضعف عضلات الجهاز التنفسى فى حالة الانتفاخ الرئوى.

يميل مرض الانسداد الرئوى المزمن إلى تقليل السعة الحيوية ويسبب نقص تأكسج الدم، وارتفاع ثانى أكسيد الكربون فى الدم، وحماضة تنفسية. يحفز نقص تأكسج الدم الكلى على إفراز الإريثروبويتين، مما يؤدى إلى تسريع إنتاج كريات الدم الحمراء وتعدد كريات الدم الحمراء (انظر الشكل 18.8). مع زيادة لزوجة الدم وتدهور نسيج الرئة، يجب على البطين الأيمن أن يعمل بجهد أكبر لضخ الدم عبر الرئتين. مثل أى عضلة تستخدم بكثافة، يتضخم وقد يفشل فى النهاية. يُسمى هذا التضخم والفشل البطينى الناتج عن انسداد الدورة الدموية الرئوية **cor pulmonale**.[32]

البلعميات وتقلل من دفاع الجسم ضد العدوى التنفسية. المدخنون المصابون بالتهاب الشعب الهوائية المزمن يطورون سعالًا مزمنًا ويخرجون مزيجًا كثيفًا من المخاط وحطام الخلايا يسمى البلغم (SPEW-tum). نظرًا لأن الدم المتدفق عبر مناطق الرئة المحتقنة لا يمكنه تحميل كمية طبيعية من الأكسجين، فإن نسبة التهوية إلى التروية تقل، وغالبًا ما يظهر هؤلاء المرضى نقص تأكسج الدم والزرقة.

فى الانتفاخ الرئوى[31] (EM-fih-SEE-muh)، تتحلل جدران الحويصلات الهوائية وتتجمع الحويصلات فى مساحات أقل وأكبر (انظر الشكل 22.21c). وبالتالى، هناك غشاء تنفسى أقل بكثير متاح لتبادل الغازات. فى الحالات الشديدة، تصبح الرئتان مترهلة ومجوفة بمساحات بحجم العنب أو حتى كرات تنس الطاولة. قد لا يُقدّر شدة المرض بالكامل من خلال النظر فقط إلى العينات النسيجية، حيث لا تُرى هذه المساحات الكبيرة فى شرائح المجهر. كما تصبح الرئتان ليفيتين وأقل مرونة. تفتح الممرات الهوائية بشكل كافٍ أثناء الشهيق، لكنها تميل إلى الانهيار وعرقلة خروج الهواء. يحبس الهواء فى الرئتين، ومع مرور الوقت يصبح الشخص ذا صدر برميلى. تنقبض عضلات الصدر المفرطة التمدد بشكل ضعيف، مما يساهم أكثر فى صعوبة الزفير. نظرًا لتدمير كميات متناسبة من جدران الحويصلات والشعيرات الدموية، فإن نسبة التهوية إلى التروية فى الرئة تكون طبيعية نسبيًا، والأشخاص

[31] *emphys* = ملتهب

[32] *cor* = القلب؛ *pulmo* = الرئة

أكثر من 90% من أورام الرئة تنشأ في الأغشية المخاطية للشعب الهوائية الكبيرة. عندما يغزو الورم جدار الشعب الهوائية و ينمو حوله، يضغط على مجرى الهواء وقد يسبب انخماص)انهيار(لأجزاء أبعد من الرئة. نمو الورم يسبب السعال، لكن السعال هو أمر شائع جدًا بين ال مدخنين لذلك نادرًا ما يثير القلق. غالبًا ما يكون أول علامة على مشك لة خطيرة هي السعال مع وجود دم. ينتشر سرطان الرئة بسرعة حتى أ نه عادة ما يكون قد انتشر إلى أعضاء أخرى بحلول وقت التشخيص. ا لمواقع الشائعة للانتشار هي التامور، القلب، العظام، الكبد، العقد اللم فاوية، والدماغ. فرصة الشفاء ضعيفة مقارنة بأنواع السرطان الأخرى، لكنها تتحسن مع التقدم في العلاج. حوالي 18% من المرضى يعيشون لمدة 5 سنوات بعد التشخيص.

الاستخدام الشعبي للماريجوانا الترفيهية وزيادة تشريعها في العد يد من الولايات أثار الاهتمام بها كعامل خطر \السرطان الرئة. يستنشق مدخنو الماريجوانا بعمق أكبر ويحتفظون بالدخان لفترة أطول مقارنة بمدخني السجائر، ويدخنون "السيجارة" حتى نهايتها، محملة بالقار مو واد مسرطنة أخرى. بدأت الدراسات حتى الآن في إثبات وجود علاقة بين استخدام الماريجوانا، سرطان الرئة، وأمراض الجهاز التنفسي الأخر ى.
تسعى التحقيقات الجارية إلى تحسين طرق الدراسة ومسح
الأشخاص الأكبر سنًا الذين لديهم تاريخ طويل من استخدام الماريجوانا.
تزايد شعبية السجائر الإلكترونية)"التدخين الإلكتروني"(
يشكل أيضًا مصدر قلق. بينما يتجنب الآثار السيئة لقار السجائر على الرئتين، إلا أنه يأتي مع مخاطر متنوعة خاصة به والتي بدأت بالكشف عنها بالكاد. سمية النيكوتين،

22.4ح التدخين وسرطان الرئة

سرطان الرئة)الشكل 22.27(يسبب وفيات أكثر من أي نوع آخر من السرطان. السبب الأهم لسرطان الرئة هو تدخين السجائر، يليه تلوث الهواء بفارق كبير. معدلات الإصابة به في انخفاض في الولايات المتح دة بسبب عقود من التوعية العامة \وسياسات مكافحة التبغ، لكنه في ازدياد في أجزاء أخرى من العالم. يحتوي دخان السجائر على ما لا يقل عن 60 مركبًا مسرطنًا. غالبًا ما يتبع سرطان الرئة أو يصاحب أمراض الانسداد الرئوي المزمن.

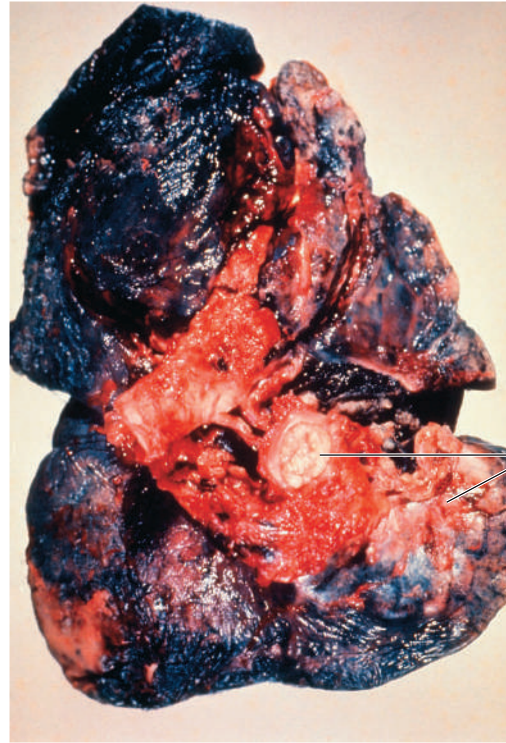
هناك ثلاثة أشكال من سرطان الرئة، وأكثرها شيوعًا هو سرطان ا لخلايا الحرشفية. في مرحلته المبكرة، تتكاثر الخلايا القاعدية في ظهارة الشعب الهوائية ويتحول الظهارة الكاذبة المهدبة متعددة الطبقات إل ى النوع الحرشفي متعدد الطبقات. مع غزو الخلايا الظهارية المنقسمة للأنسجة الكامنة في جدار الشعب الهوائية، تتطور آفات نزفية في الق صبة الهوائية. تظهر كتل كثيفة من الكيراتين والخلايا الحرشفية الخبي ثة في نسيج الرئة وتستبدل النسيج التنفسي الوظيفي.

الشكل الثاني من سرطان الرئة، والذي يكاد يكون شائعًا بنفس القدر، ه و سرطان الغدد الظهارية)أدينوكارسينوما(،[33] الذي ينشأ في غدد المخاط ف ي الطبقة الأساسية)اللامينا بروبيا(. الشكل الأقل شيوعًا)10% إلى 20% من أورام الرئة الخبيثة(ولكنه الأكثر خطورة هو سرطان الخلايا الصغيرة)سرطان الخلايا الشوفانية(، المسمى بسبب تجمعات الخلايا التي تشبه حبوب الشو فان. ينشأ هذا في الشعب الهوائية الرئيسية لكنه يغزو المنصف وينتشر بسر عة إلى أعضاء أخرى.

[33] *أدينو* = غدة؛ *كارسينو* = سرطان؛ *أومة* = ورم



)أ(رئة صحية، السطح المنصفي



)ب(رئة مدخن مع سرطان

الشكل 22.27 تأثيرات التدخين.)أ(صورة لرئة صحية، السطح المنصفي.)ب(صورة لرئة مدخن مع سرطان.

أ: Dennis Strete/McGraw Hill ; ب: Biophoto Associates/Science Source

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق.

23. صف الفئات الأربع لنقص الأكسجة.
24. سمِّ وقارن بين نوعى مرض الانسداد الرئوى المزمن)COPD(وا صفًا بعض التأثيرات المرضية المشتركة بينهما.
25. فى أى نسيج رئوى ينشأ سرطان الرئة؟ كيف يسبب الوفاة؟

ارتباطه بالتهاب الرئة وتأثيره الضار على الدماغ ما هو إلا بداية. حتى بع يداً عن النيكوتين، فإن المذيبات فى سوائل التدخين الإلكترونى تكسر حاجز الرئة ضد العدوى، وتحفز البكتيريا الممرضة على تعزيز دفاعاتها، وتثبط تكاثر خلايا الرئة المهمة للصيانة والإصلاح، وعند تسخينها تتحو ل إلى الفورمالديهايد ومواد مسرطنة معروفة ومشتبه بها. قد لا تُعرف التأثيرات الكاملة للتدخين الإلكترونى إلا بعد 20 سنة أو أكثر من الا ستخدام الواسع.



نظرة أعمق 22.5

تطبيق سريرى

فسيولوجيا الغوص ومرض تخفيف الضغط

بسبب شعبية الغوص باستخدام جهاز التنفس تحت الماء)سكوبا(، يعرف الكثير م ن الناس بعض الأمور العلمية المتعلقة بالتنفس تحت ضغط عالٍ. لكن الغوص ل يس هوسًا جديدًا على الإطلاق. ففى القرن الخامس قبل الميلاد، وصف أرسطو ال غواصين الذين يستخدمون أنابيب التنفس ويحملون حاويات هواء تحت الماء لل بقاء لفترة أطول. رسم بعض فنانى عصر النهضة غواصين على أعماق كبيرة يتنف سون من أنابيب تصل إلى سطح الماء. فى الواقع، هذا سيكون مستحيلاً من الناح ية الفيزيائية. أولاً، ستكون هذه الأنابيب ذات مساحة ميتة كبيرة بحيث لا يصل اله واء النقى من السطح إلى الغواص. الأنابيب القصيرة المستخدمة اليوم هى تقريبًا ا لحد الأقصى للطول الذى يسمح بالتنفس من السطح. سبب آخر لعدم إمكانية اس تخدام أنابيب التنفس على أعماق أكبر هو أن ضغط الماء يزداد بمقدار 1 ضغط جو ى لكل 10 أمتار من العمق، وحتى على عمق متر واحد يكون الضغط كبيرًا جدًا بح يث لا يستطيع الغواص توسيع عضلات الصدر بدون مساعدة.

هذا أحد الأسباب التى تجعل غواصى السكوبا يستخدمون خزانات هواء مضغوط. تخلق الخزانات ضغطًا إيجابيًا داخل الرئتين وتمكن الغواص من الشهيق بمساعدة طفيفة فقط من عضلات الصدر. كما تحتوى خزانات السكوبا على منظمات تضبط ضغط الهواء الخارج حسب عمق الغواص والضغط المعاكس للماء المحيط.

لكن التنفس بغاز مضغوط)فرط الضغط(يطرح مشاكله الخاصة. لا يمكن للغوا صين استخدام الأكسجين النقى بسبب مشكلة سمية الأكسجين. بدلاً من ذلك، ى ستخدمون الهواء المضغوط — وهو مزيج من 21% أكسجين و79% نيتروجين. ع لى اليابسة، لا يشكل النيتروجين مشاكل فسيولوجية؛ فهو يذوب بشكل ضعيف فى الدم وهو خامد فسيولوجيًا. لكن تحت ظروف فرط الضغط، تذوب كميات أك بر من النيتروجين فى الدم.)أى من قوانين الغازات فى الجدول 22.1 ينطبق هنا؟(يذوب المزيد منه فى الأنسجة الدهنية ومياليين الدماغ، لأن النيتروجين أكثر قابلية للذوبان فى الدهون. فى الدماغ، يسبب تخدير النيتروجين، أو ما سماه مخترع ال سكوبا جاك كوستو)1910–1997("نشوة الأعماق". يمكن أن يصاب الغواص بالد وار، والنشوة، والارتباك الخطير؛ ويقال إن التأثير لكل 15 إلى 20 مترًا من العمق يعادل تأثير مارتينى واحد على معدة فارغة.

تجعل التيارات القوية، وفشل المعدات، والمخاطر الأخرى الغواصين أحيانًا فى حالة ذعر، فيحبسون أنفاسهم، ويسبحون بسرعة نحو السطح)وهو صعود بحبس النفس(. ينخفض الضغط المحيط بسرعة أثناء صعود الغواص، ويتوسع الهواء فى الرئتين بنفس السرعة.
)أى قانون غازات يُظهر هنا؟(من الضرورى أن يحافظ الغواص الصاعد على مجرى الهواء مفتوحًا ليزفر الغاز المتوسع؛ وإلا فمن المحتمل أن يسبب إصابة الرئة بضغ ط الهواء — تمزق الحويصلات الهوائية. ثم، عندما يأخذ الغواص نفسًا على السطح ، يدخل هواء الحويصلات مباشرة إلى مجرى الدم ويسبب انسدادًا هوائيًا)انظر نظر ة أعمق 20.3(.

بعد المرور عبر القلب، تدخل الجلطات الدموية الدورة الدموية الدماغية لأن الغوا ص يكون فى وضع الرأس للأعلى وفقاعات الهواء ترتفع فى السائل. يمكن أن يس بب الانصمام الدماغى الناتج خللاً فى الحركة والحس، ونوبات صرع، وفقدان الوعى ، والغرق.
يمكن أن يكون الصدمة الضغوطية قاتلة حتى فى أعماق حمام سباحة صغير فى الفناء الخلفى. فى حالة واحدة، حبس الأطفال الهواء فى دلو على عمق متر تح ت الماء ثم سبحوا تحت الدلو للتنفس من فراغ الهواء. وبما أن الدلو كان تحت الم اء، فقد تم ضغط الهواء بداخله. ملأ طفل رئتيه تحت الدلو، وصعد "مجرد" متر واح د وهو يحبس أنفاسه، مما أدى إلى تمزق الحويصلات الهوائية. توفى فى المستش فى، جزئياً لأن الحالة تم الخلط بينها وبين الغرق ولم تُعالج على حقيقتها. لم يكن ه ذا ليحدث لشخص استنشق الهواء على السطح، ثم غاص وهو يحبس أنفاسه ثم ع اد إلى السطح — ولا تُعد الصدمة الضغوطية مشكلة لأولئك الذين يقومون بالغو ص بحبس الأنفاس إلى عدة أمتار.)لماذا؟ ما الفرق؟(

حتى عند عدم حبس النفس، ولكن السماح للهواء المتوسع بالهروب من الفم، يجب على الغواص الصعود ببطء وبعناية للسماح بتحلل النيتروجين الذى ذاب فى الأنسجة. جداول التحلل تحدد معدلات صعود آمنة بناءً على العمق ومدة بقاء الغ واص تحت الماء. عندما ينخفض الضغط، يمكن للنيتروجين المذاب فى الأنسجة أ ن يذهب إلى مكانين: إما أن ينتشر إلى الحويصلات الهوائية ويُزفر، أو أن يشكل ف قاعات مثل ثانى أكسيد الكربون CO 2 فى زجاجة الصودا عند إزالة الغطاء.

هدف الغواص هو الصعود ببطء، مما يسمح للحالة الأولى ويمنع الحالة الثانية. إذا صعد الغواص بسرعة كبيرة، فإن النيتروجين "يغلى" من الأنسجة — خاصة فى ال ثلاثة أمتار تحت السطح، حيث يكون التغير النسبى فى الضغط أكبر. قد ينحنى الغ واص من الألم بسبب الفقاعات فى المفاصل والعظام والعضلات — مرض يُسم ى الانحناءات أو مرض التحلل)DCS(. فقاعات النيتروجين فى الشعيرات الدمو ية الرئوية تسبب الاختناق — ألم تحت عظمة القص، سعال، وضيق فى التنفس. أحياناً يصاحب مرض التحلل تغيرات فى المزاج، نوبات، تنميل، وحكة. عادةً ما تظهر هذه الأعراض خلال ساعة من الصعود إلى السطح، لكنها أحياناً تتأخر حتى 3 6 ساعة. يُعالج مرض التحلل بوضع المصاب فى غرفة ضغط عالى لإعادة الضغط ثم التحلل البطىء.

يُسمى مرض التحلل أيضاً مرض الكايسون. الكايسون هو غرفة تحت الماء م حكمة الإغلاق مملوءة بالهواء المضغوط. تُستخدم الكايسونات فى أعمال البناء تح ت الماء على الجسور والأنفاق وهياكل السفن، وما إلى ذلك.
تم الإبلاغ عن مرض الكايسون لأول مرة فى أواخر القرن التاسع عشر بين العمال ا لذين بنوا أساسات جسر بروكلين.

اتصالات النظام



تأثيرات نظام الجلد)INTEGUMENTARY SYSTEM(
على أنظمة الأعضاء الأخرى

جميع الأنظمة
يوصل الأكسجين إلى الأنسجة ويزيل ثانى أكسيد الكربون منها؛ يحافظ على التوازن الحمضى القاعدى المناسب فى الأنسجة



الجهاز الجلدى
يمكن أن تسبب اضطرابات الجهاز التن
فسى تغيرات فى لون الجلد مثل
الزرقة الناتجة عن نقص الأكسجة أو ا
للون الأحمر الكرز الناتج عن تسمم أو
ل أكسيد الكربون.

الجهاز الهيكلى
أى اضطراب تنفسى يسبب نق
ص الأكسجة يحفز تسريع تكوين
كريات الدم الحمراء فى نخاع العظ
م الأحمر.

الجهاز العضلى
اختلالات الحموضة القاعدية ذا
ت الأصل التنفسى يمكن أن تؤثر ع
لى الوظيفة العصبية العضلية.

الجهاز العصبى
التنفس يؤثر على درجة حموضة ا
لسائل الدماغى الشوكى، والذى
بدوره يؤثر على الوظيفة العصبية
مع تأثيرات تتراوح بين فرط ا
لاستثارة إلى انخفاض الاستثارة وا
لغيبوبة.

الجهاز الصمائى
الرئتان تنتجان إنزيم تحويل الأنج
يوتنسين)ACE(، الذى يحول
الأنجيوتنسين I إلى هرمون الأنج
يوتنسين II؛ نقص الأكسجة يحفز إ
فراز الإريثروبويتين.

الجهاز الدورى
مضخة الصدر تساعد على عودة الدم الوريد
ى؛ الأنجيوتنسين II، الذى يُنتج فى الرئتين
، يحفز تضيق الأوعية ويساعد فى تنظيم ح
جم الدم وضغطه؛ التنفس يؤثر بشكل كبير على در
جة حموضة الدم؛ انسداد الدورة الدموية الرئوية
يمكن أن يؤدى إلى فشل القلب الأيمن؛ الرئ
تان تقومان بتصفية جلطات الدم والانسدادات و
تمنعانها من انسداد الشرايين الحيوية فى أماكن
أخرى؛ معظم الصفائح الدموية تُصنع فى الرئ
تين.

الجهاز اللمفاوى والمناعى
مضخة الصدر تعزز تدفق اللم
ف وعودته إلى مجرى الدم.

الجهاز البولى
مناورة فالسالفا تساعد فى
التبول؛ يتعاون الجهازان ال
بولى والتنفس فى تواز
ن الحمض والقاعدة ويعوضا
ن عن نقص كل منهما فى ال
حفاظ على الرقم ا
لهيدروجينى الطبيعى؛ يحفز ن
قص الأكسجة الكلى على
إفراز الإريثروبويتين.

الجهاز الهضمى
مناورة فالسالفا تساعد فى ال
تبرز.

الجهاز التناسلى
مناورة فالسالفا تساعد فى الو
لادة.

دراسة دليل

قيّم نتائج تعلمك

تطبيق قانون دالتون على الضغوط الجزئية وال ضغط الجوى الكلى

2. الاختلافات بين تركيب هواء الغلاف الجوى وهواء الحويصلات الهوائية، وأسباب هذه الا ختلافات
3. لماذا يعتمد تبادل الغازات على قدرة الغازات على الذوبان فى الماء؛ وتطبيق قانون هنرى على واجهة الهواء-الماء فى الحويصلات الهوائية
4. أربعة متغيرات تحدد معدل تحميل الأكسجين (O_2) وتفريغ ثانى أكسيد الكربون (CO_2) بواسطة الدم الم ار عبر الشعيرات الدموية الحويصلية
5. كيف يطابق اقتران التهوية-التروية تدفق الهواء الرئوى مع تدفق الدم لتحقيق تبادل غازى مثال ى
6. الطريقتان لنقل الأكسجين (O_2) فى الدم والكم يات النسبية للأكسجين المنقولة بواسطة كل منهما؛ أين يرتبط الأكسجين بجزىء الهيموغلو بين؛ كم كمية الأكسجين التى يمكن لجزىء الهى موغلوبين حملها؛ وما هو اسم الهيموغلوبين عندما يرتبط به الأكسجين
7. تفسير منحنى تفكك الأوكسيهيموغلوبى ن، بما فى ذلك سبب شكله وكيف يمكن ا ستخدامه لإظهار كمية تفريغ الأكسجين (O_2) أثناء مرور الهيموغلوبين عبر نسيج جهاز الدوران النموذجى
8. ثلاث طرق لنقل ثانى أكسيد الكربون (CO_2) فى الد م والكميات النسبية المنقولة بواسطة كل منها؛ وأى ن يرتبط ثانى أكسيد الكربون بالهيموغلوبين؛ وما هو اسم الهيموغلوبين عندما يرتبط به ثانى أكسيد ا لكربون
9. كيف تساعد أنزيم الكاربونيك أنهيدراز (CAH) وتحو ل الكلوريد فى تحميل ثانى أكسيد الكربون من سوائل ا لأنسجة؛ والتفاعل الذى يحفزه أنزيم الكاربونيك أنهيدر از
10. كيف يؤثر تحميل ثانى أكسيد الكربون فى الأنسجة الجها زية على تفريغ الأكسجين (O_2)؛ معنى معامل الاستخدام (utilization coefficient) وقيمة نموذجية فى حالة الراحة
11. كيف يؤثر تحميل الأكسجين (O_2) فى الرئتين على تفريغ ثانى أكسيد الكربون (CO_2)
12. أربعة آليات تضبط كمية الأكسجين (O_2) التى يفرغها الهيموغلوبين حسب احتياجات الأنس جة الفردية
13. كيف يؤثر تأثير هالدين (Haldane effect) على تح ميل ثانى أكسيد الكربون (CO_2) بالنسبة لمعدلات الأيض فى الأنسجة الفردية
14. ثلاثة عوامل تحفز المستقبلات الكيميائية الم ركزية والطرفية، وتأثيراتها النسبية على التنفس

4. مواقع وأدوار المستقبلات الكيميائية الم ركزية والطرفية، مستقبلات التمدد، ومستقبلا ت التهيج فى تعديل إيقاع التنفس
5. المسار العصبى للتحكم الإرادى فى التنفس
6. العلاقة الرياضية بين تدفق الهواء، الضغط، والمقاومة
7. أفعال عطم القص والقفص الصدرى خلال دو رة التنفس
8. لماذا يتم قياس الضغوط التى تحرك تدفق الهواء التنفسى بوحدة سم ماء بدلاً من مم زئبق كما ه و الحال مع الضغوط الأخرى التى نوقشت فى هذ ا الفصل والفصول السابقة
9. كيف ولماذا يتغير الضغط داخل الرئة بال نسبة للضغط الجوى أثناء الشهيق؛ وك يف ترتبط قوانين بويل وتشارلز بالتهو ية الرئوية
10. دور الارتداد المرن للصدر فى الزفير؛ كيف ولماذا يتغير الضغط داخل الرئة بالنسبة لل ضغط الجوى أثناء الزفير
11. كيف تتأثر التهوية الرئوية بتوسع الشعب الهو ائية، وتضيق الشعب الهوائية، وامتثال الرئة، وا لسطح الداخلى للحويصلات الهوائية (السير فاكتانت)
12. حجم التنفس النموذجى للبالغين؛ كم منه يه وى الحويصلات الهوائية وكم يبقى فى ال فراغ الميت التشريحى؛ وكيفية حساب مع دل التهوية الحويصلية
13. استخدام مقياس التنفس لقياس التهوية الرئو ية؛ معانى القيم النموذجية لأربعة أحجام تنف سية وأربعة سعات تنفسية
14. كيفية تحديد حجم الزفير القسرى، وحجم التنف س فى الدقيقة، والتهوية الطوعية القصوى
15. الفرق بين اضطرابات التنفس الانسدادية والقيودية، وتأثير كل منهما على بعض الأحجا م والسعات التنفسية، وأمثلة على كل منهم ا
16. *تعريفات التنفس الطبيعى (eupnea)، ضيق التنفس (dyspnea)، فرط التنف س (hyperpnea)، فرط التهوية (hyperventilation)، نقص التهوية (hypove ntilation)، تنفس كوسماول (Kussmaul respiration)، التنف س الأرثوبنى (orthopnea)، توقف التنفس (respiratory arrest)، وتسرع التنفس (tachypnea)*

22.3 تبادل الغازات والنقل

1. تركيب الغلاف الجوى والضغوط الجزئية المتو سطة لغازاته المكونة عند مستوى سطح البحر

لاختبار معرفتك، ناقش المواضيع التالية مع شر يك دراسة أو كتابةً، ويفضل أن يكون ذلك من الذا كرة.

22.1 تشريح الجهاز التنفسى

1. معنيان لكلمة *التنفس*
2. وظائف الجهاز التنفسى
3. التمييز بين القسم التنفسى والقسم الناقل فى هذا النظام، ومكونات كل قسم
4. التمييز بين الجهاز التنفسى العلوى وال سفلى وخط الفصل بينهما
5. امتداد تجويف الأنف، أسماء فتحاته الأمامي ة والخلفية، وأسماء الحجرتين المفصولتين بالحاجز الأنفى، والتشريح النسيجى لغشاء م خاطيته
6. أسماء ووظائف الطيات الحلزونية التى تنشأ م ن كل جدار جانبى لتجويف الأنف
7. تشريح ووظائف البلعوم، والحنجرة، والق صبة الهوائية
8. التشريح الكلى للرئتين؛ كيف تختلف الرئة ا ليمنى عن اليسرى؛ والهياكل التى تدخل أو تخرج من خلال الهيلوم
9. تقسيمات شجرة الشعب الهوائية من القصبة الرئيسية إلى الشعب القطاعية، وا لتغيرات النسيجية على طول الطريق
10. كيف تختلف القصيبات عن الشعب الهوائية؛ نوعان من القصيبات؛ وكيف يختلف النوعان فى ا لتشريح النسيجى والوظيفة
11. قنوات الحويصلات الهوائية والحويصلات الهوائية؛ أنواع الخلايا فى الحويصلات وو ظائفها؛ العلاقة بين الأوعية الدموية الرئوية وا لحويصلات؛ وبنية الغشاء التنفسى وعلاق ته بوظيفته
12. الغشاء الجنبى الجدارى والجنبى الحشوى، تجو يف الجنبة، وسائل الجنبة

22.2 التهوية الرئوية

1. المرحلتان من دورة التنفس
2. أفعال عضلات التنفس؛ المحرك الرئيس ى والمتعاونون فى عملية التنفس
3. مواقع ووظائف مراكز التنفس فى جذع الدما غ؛ اتصالاتها مع بعضها البعض ومع المستويا ت الأخرى للجهاز العصبى المركزى؛ ومسارات ا لإخراج من الجهاز العصبى المركزى إلى عضلات التنفس

دليل الدراسة

3. الأسماء، السبب الأكثر شيوعًا، والمر
ضية لمرضين مزمنين انسداديين رئويين (COPDs)
4. السبب الأكثر شيوعًا لسرطان الرئة، وأسما
ء الفئات الثلاث لسرطان الرئة والاختلافات ا
لمرضية بينها

22.4 الاضطرابات التنفسية

1. تعريف نقص الأكسجة (hypoxia)؛ أنواعه الأ
ربعة وسبب كل منها؛ وعواقب نقص الأكسجة
غير المصحح
2. الآلية والتأثيرات السمية للأكسجين

15. النطاق الطبيعي لدرجة الحموضة (pH) في الدم؛ المصطلحات الخ
اصة بالانحرافات فوق وتحت هذا النطاق؛ المصطلحات الخاصة
بعدم توازن ثاني أكسيد الكربون (CO_2) التي تسبب هذه الانحرا
فات في درجة الحموضة؛ وكيف ينظم الجسم درجة حموضة ا
لدم بشكل توازني (هوميوستاتي)
16. الآلية التي من خلالها يزيد التمرين من التنفس

اختبار استذكارك

الإجابات في الملحق أ

1. تنقسم التجويف الأنفي بواسطة الحاجز الأنفي إلى جا
نبي الأنف الأيمن والأيسر
أ. الفتحات الأنفية.
ب. البطينات.
ج. الحفر.
د. الثغور الخلفية (الخوان).
هـ. الأهداب (القرون الأنفية).

2. تتحكم عضلات الحنجرة الداخلية في
الكلام عن طريق الدوران
أ. العضلات الحنجرية الخارجية.
ب. الغضاريف القرنية.
ج. الغضاريف الأريتينويدية.
د. عطم اللامة.
هـ. الأحبال الصوتية.

3. أكبر الممرات الهوائية التي تشارك في تبادل
الغازات مع الدم هي
أ. القصيبات التنفسية.
ب. القصيبات الطرفية.
ج. القصبات الرئيسية.
د. قنوات الحويصلات الهوائية.
هـ. الحويصلات الهوائية.

4. من المرجح أن يؤدي توقف التنفس
إلى ورم في
أ. الجسر (البونس).
ب. المخ الأوسط.
ج. المهاد.
د. المخيخ.
هـ. النخاع المستطيل.

5. أي من هذه القيم تكون عادة الأعلى؟
أ. حجم التنفس العادي (حجم التيار).
ب. حجم الاحتياطي الشهيقي.
ج. حجم الاحتياطي الزفيري.
د. الحجم المتبقي
هـ. السعة الحيوية

6. يحمي الرئتين من الإصابة ال______
بسبب الشهيق المفرط.
أ. الجنب الحشوي.
ب. القفص الصدري
ج. انعكاس التضخم
د. تأثير هالدين
هـ. تأثير بور

7. تدفئة الهواء أثناء استنشاقه تساعد على نفخ الرئتين______وفقًا لـ
تدفئة الهواء أثناء استنشاقه تساعد على نفخ الرئتين.
أ. قانون بويل
ب. قانون تشارلز
ج. قانون دالتون
د. تأثير بور
هـ. تأثير هالدين

8. ______ سوء الدورة الدموية يسبب
نقص التأكسج.
أ. إقفاري
ب. هيستوتوكسك
ج. انحلالي
د. فقر دم
هـ. نقص التأكسج

9. معطم ثاني أكسيد الكربون الذي ينتشر من
الدم إلى الحويصلة الهوائية يأتي من
أ. الغاز المذاب.
ب. كربامينوهيموغلوبين.
ج. كربوكسيهيموغلوبين.
د. حمض الكربونيك.
هـ. الهواء المنبعث.

10. مدة الشهيق يتم تحديدها بواسطة
أ. المركز التنفسي الرئوي (مركز التنفس).
ب. الأعصاب الحجابية.
ج. الأعصاب المبهمة.
د. الخلايا العصبية I.
هـ. الخلايا العصبية E.

11. الفتحة العلوية إلى الحنجرة محمية بواسط
ة شريحة نسيجية تسمى______.
12. داخل كل رئة، يشكل مجرى الهواء
تفرعًا معقدًا يُسمى______.
13. تفرز الخلايا السنخية الكبيرة مزيجًا
من الفسفوليبيد والبروتين يسمى ______.
14. يجب أن يكون الضغط داخل الرئة أقل من الض
غط من أجل حدوث الشهيق. ______
15. تقلل الاضطرابات من سرعة تدف______
ق الهواء عبر مجرى التنفس.
16. بعض الهواء المستنشق لا يشارك في تبادل ا
لغازات لأنه يملأ______ من
مسار الجهاز التنفسي.
17. يعتمد الشهيق على سهولة
انتفاخ الرئتين، والتي تُسمى ______.
بينما يعتمد الزفير على______.
الذي يسبب ارتداد الرئة.
18. يحدث الشهيق بسبب إطلاق العصبونات I
في ______ النخاع المستطيل
النخاع المستطيل.
19. تطابق تدفق الهواء مع تدفق الدم في أي م
نطقة من الرئة يُسمى______.
20. درجة حموضة الدم > 7.45 تُسمى______ و
يمكن أن يسببه نقص في CO_2 يُسمى
______.

دليل دراسة

بناء مفرداتك الطبية

الإجابات في الملحق أ

اذكر معنى كل عنصر من عناصر الكلمة، وقدم مصطلحًا طبيًا من هذا الفصل يستخدمه أو تعديلًا طفيفًا له.

1. atel-
2. كابنى-
3. كار سينو-
4. كور نى-
5. يو-
6. -مى تر
7. نازو-
8. -بنيا
9. سبير أو-
10. ثيرو-

ما الخطأ في هذه العبارات؟

الإجابات في الملحق أ

اشرح بإيجاز لماذا كل من العبارات التالية غير صحيحة، أو أعد صياغتها لتصبح صحيحة.

1. تطلق الأعصاب الحجابيّة أثناء الشهيق فقط.
2. هناك قصبة هوائية قطاعية واحدة لكل فص من فصوص الرئة.
3. الخلايا الأكثر وفرة في الرئة هي خلايا الحويصلات الهوائية الحرشفية.
4. إذا زادت حجم كمية معينة من الغاز، فإن ضغطه يزداد.
5. الانخماص الرئوى (Atelectasis) يسبقه دائمًا استرواح الصدر (pneumothorax).
6. أكبر تأثير للتنفس المتسارع هو زيادة محتوى الأكسجين في الدم.
7. الأكسجين هو الغاز الوحيد الذى نستنشقه من الغلاف الجوى، لأننا لا نستطيع استخدام النيتروجين أو الغازات الأخرى فيه.
8. معظم الهواء الذى يستنشقه الإنسان لا يصل أبدًا إلى الحويصلات الهوائية.
9. كلما انخفض ضغط ثانى أكسيد الكربون (P_{CO_2}) في الدم، انخفض الرقم الهيدروجينى (pH) له.
10. معظم ثانى أكسيد الكربون (CO_2) الذى ينقله الدم يكون في شكل غاز مذاب.

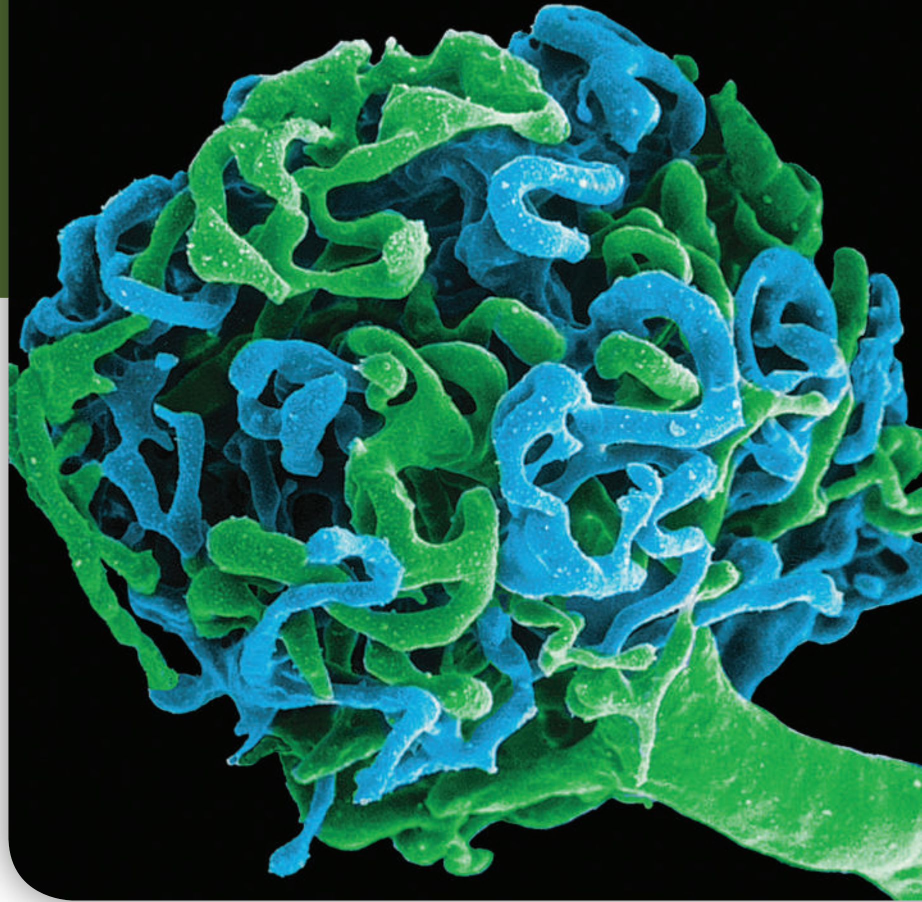
اختبار فهمك

1. ناقش كيف ترتبط الوظائف المختلفة للقسم الناقل والقسم التنفسى بالاختلافات في نسيجهما.
2. حدد ما إذا كان فرط التنفس سيرفع أو يخفض كلًا من التالي—ضغط الأكسجين في الدم (P_{O_2})، وضغط ثانى أكسيد الكربون (P_{CO_2})، ودرجة الحموضة (pH)—وفسر السبب. افعل الشيء نفسه بالنسبة لمرض النفاخ الرئوى (الامفيزيما).
3. يقوم بعض السباحين التنافسيين بفرط التنفس قبل السباق، معتقدين أنهم يمكنهم "تحميل كمية إضافية من الأكسجين" وحبس أنفاسهم لفترة أطول تحت الماء. بينما يمكنهم بالفعل حبس أنفاسهم لفترة أطول، إلا أن السبب ليس كما يظنون.
4. ضع في اعتبارك رجلاً يتمتع بصحة جيدة بحجم تنفس مدّى (حجم التيار) يبلغ 650 مل ومعدل تنفس 11 نفسًا في الدقيقة. أبلغ عن حجم التنفس اللحظى لديه باللترات في الدقيقة. بافتراض أن مساحة الميتة التشريحية لديه تبلغ 185 مل، احسب معدل التهوية السنخية لديه باللترات في الدقيقة.
5. تم إدخال امرأة تبلغ من العمر 83 عامًا إلى المستشفى، حيث حاول ممرض العناية الحرجة إدخال أنبوب أنفى معوى ("أنبوب المعدة") للتغذية. بدأت المريضة تظهر عليها أعراض ضيق التنفس، وكشف تصوير الصدر بالأشعة السينية عن وجود هواء في التجويف الجنبى الأيمن وانهيار الرئة اليمنى. توفيت المريضة بعد 5 أيام بسبب مضاعفات تنفسية. سمِّ هذه الحالات التي كشفتها الأشعة وفسر كيف يمكن أن تكون ناجمة عن إجراء الممرضة. علاوة على ذلك، فقد بعضهم وعيهم وغرقوا بسبب هذه الممارسة. ما الخطأ في هذا التفكير، وما الذى يفسر فقدان الوعى؟

الفصل

23

الجهاز البولى



الكبيبة الكلوية، كتلة من الشعيرات الدموية حيث يقوم الكلى بتصفية الدم)صورة مجهرية إلكترونية لهيكل وعائى(

SPL/Science Source

رؤى أعمق

23.1 لطب التطورى: الكلية والحياة على اليا بسة

23.2 لتطبيق السريرى: حصى الكلى

23.3 لتطبيق السريرى: عدوى المسالك البولية)UTI(

23.4 لتطبيق السريرى: التبول وإصابات الح بل الشوكى

23.5 لتطبيق السريرى: القصور الكلوى والغ سيل الكلوى



الوحدة 13: الجهاز البولى

مخطط الفصل

ح. تسمية النفايات النيتروجينية الرئيسية وتحديد مصادرها؛ و

د. حدد الإخراج وحدد الأجهزة التي تطرح النفايات.

يتكون الجهاز البولي من ستة أعضاء رئيسية: كليتان، حالبان، المثانة البولية، والإحليل (الشكل 23.1). للمسالك البولية علاقات مكانية مهمة مع المهبل والرحم عند الإناث، والبروستاتا عند الذكور.

تُفهم هذه العلاقات بشكل أفضل من خلال المشاهد السهمية في الشكلين 27.10أ و28.1أ، ويمكن رؤيتها في الجثة في الشكل B.14 من الأطلس ب.

APR 23.1أ وظائف الكليتين

على الرغم من أن الوظيفة الأساسية للكليتين هي الإخراج، إلا أنهما تلعبان أدوارًا أكثر مما يُدرك عادةً:

- تقوم بتصفية الدم وإفراز الفضلات الأيضية السامة.
- تنظم حجم الدم وضغطه وتركيزه الأسموزي من خلال تنظيم إخراج الماء.
- تنظم توازن الإلكتروليتات والحمض-القاعدة في سوائل الجسم.
- تفرز هرمون الإريثروبويتين، الذي يحفز إنتاج خلايا الدم الحمراء وبالتالي يدعم قدرة الدم على حمل الأكسجين.
- تساعد في تنظيم توازن الكالسيوم واستقلاب العظام من خلال المشاركة في تخليق الكالسيتريول.
- تقوم بإزالة الهرمونات والأدوية من الدم وبالتالي تحد من تأثيرها.
- تقوم بإزالة السموم الناتجة عن الجذور الحرة.
- في حالات الجوع الشديد، تساعد في دعم مستوى الجلوكوز في الدم عن طريق تخليق الجلوكوز من الأحماض الأمينية.

بالنظر إلى هذه الأدوار المتنوعة، من السهل فهم سبب إمكانية فشل الكلى أن يؤدي إلى انهيار العديد من الوظائف الفسيولوجية الأخرى أيضًا.

23.1ب الفضلات النيتروجينية

النفاية هي أي مادة عديمة الفائدة للجسم أو موجودة بكمية تفوق احتياجات الجسم. النفاية الأيضية، بشكل أكثر تحديدًا، هي مادة نفاية ينتجها الجسم. على سبيل المثال، بقايا الطعام في البراز هي نفاية لكنها ليست نفاية أيضية، لأنها لم تُنتج بواسطة الجسم، وبالفعل، لم تدخل أنسجة الجسم.

من بين أكثر نفاياتنا الأيضية سمية مركبات صغيرة تحتوي على النيتروجين تُسمى النفايات النيتروجينية (الشكل 23.2). حوالي 50% من النفايات النيتروجينية هي اليوريا، وهي منتج ثانوي لتحلل البروتينات. يتم تحلل البروتينات إلى أحماض أمينية، ثم يتم إزالة مجموعة —NH_2 من كل حمض أميني.

تشكل مجموعة —NH_2 الأمونيا، التي هي شديدة السمية ولكن

مراجعة سريعة

●● العديد من جوانب فسيولوجيا الكلى تحكمها مبدأ التدفق حسب الضغط، والتدرجات الاسموزية، والكهربائية الكيميائية (انظر القسم 1.6هـ).

●● يجب أن تكون على دراية بقوى تبادل السوائل في الشعيرات الدموية لفهم الترشيح الكبيبي، وهو الخطوة الأولى في إنتاج البول (انظر القسم 20.3ب).

●● مفاهيم الاسموزية، التوترية، والأسمولارية مركزية لفهم مراحل إنتاج البول ودور الكليتين في تنظيم توازن السوائل وتركيز البول (انظر الأقسام 3.3ح، 3.3د؛ "الأسمولارية والأسمولالية" في الملحق ب).

●● راجع ذاكرتك حول النقل المعتمد على الحامل في القسم 3.3هـ، خاصة النقل المتماثل والنقل المعاكس، لفهم أفضل لكيفية معالجة الكلية لترشيح بلازما الدم لإنتاج البول.

أن تعيش يعني أن تقوم بعملية الأيض، والأيض لا بد أن ينتج نفايات ليست فقط غير ضرورية للجسم، بل سامة إذا سمح بتراكمها. نتخلص من بعض هذه النفايات عبر الجهاز التنفسي والهضمي وغدد العرق، لكن الجهاز البولي هو الوسيلة الرئيسية لإخراج النفايات. الكليتان هما عدد تفصل النفايات الأيضية عن الدم. أما بقية الجهاز البولي فخدمته تقتصر على نقل البول وتخزينه والتخلص منه.

لذلك يتركز معظم اهتمامنا في هذا الفصل على الكليتين. مهمتهما تتجاوز مجرد إخراج النفايات. كما سنرى، تلعب الكليتان أدوارًا لا غنى عنها في تنظيم حجم الدم، وضغطه، وتركيبه. وأثناء أداء هذه المهام، ترتبطان ارتباطا وثيقًا بالجهاز الصماء، والدورة الدموية، والجهاز التنفسي، التي تم تناولها في الفصول السابقة.

تشريحياً، يرتبط الجهاز البولي ارتباطًا وثيقًا بالجهاز التناسلي. في العديد من الحيوانات، تُطرح البويضات والحيوانات المنوية عبر الجهاز البولي، وللجهازين تطور جنيني مشترك وعلاقة تشريحية في البالغين. وهذا ينعكس في الإنسان، حيث يتطور الجهازان معًا في الجنين، وفي الذكر يستمر الإحليل ليكون ممرًا لكل من البول والحيوانات المنوية. لذلك، غالبًا ما يُطلق على الجهازين معًا اسم الجهاز البولي التناسلي (U–G)، ويعالج أطباء المسالك البولية كلا من اضطرابات الجهاز البولي والذكري التناسلي. ندرس العلاقة التشريحية بين الجهازين في الفصل 27، لكن الرابط الفسيولوجي مع الجهاز الدوري والتنفس أكثر أهمية للنظر فيه في هذا الوقت.

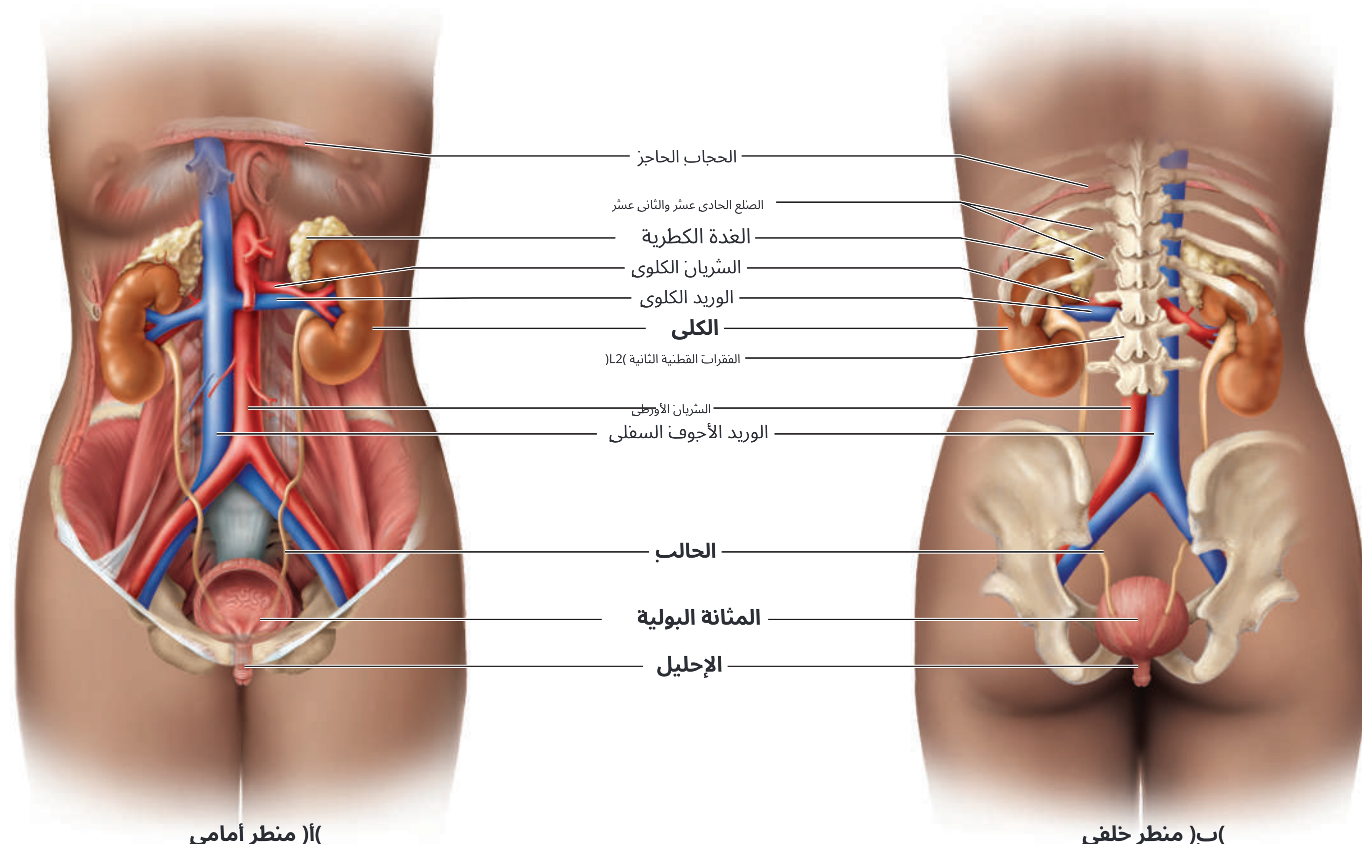
وظائف الجهاز البولي **23.1**

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

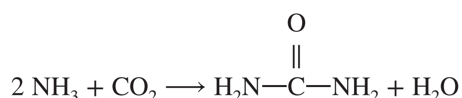
أ. تسمية وتحديد مواقع أعضاء الجهاز البولي؛

ب. سرد عدة وظائف للكليتين بالإضافة إلى تكوين البول؛



APR الشكل 23.1 الجهاز البولى.)أ(منظر أمامى.)ب(منظر خلفى. الأعضاء فى الجهاز البولى موضحة بالخط العريض.

الذى يحوله الكبد بسرعة إلى اليوريا، $CO(NH_2)_2$ وهو نفاية أقل سمية إلى حد ما:



$$2\,NH_3 + CO_2 \longrightarrow H_2N{-}\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}{-}NH_2 + H_2O$$

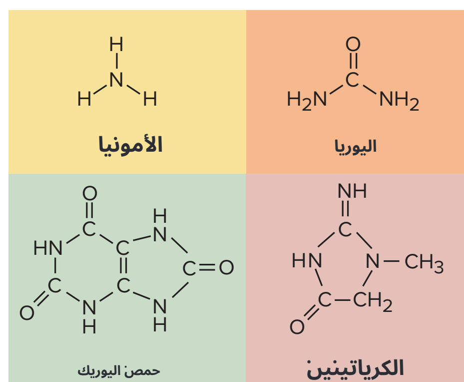
تشمل الفضلات النيتروجينية الأخرى فى البول حمض اليوريك و الكرياتينين)كرى-آت-إه-نين(، الناتجين عن تحلل الأحماض النووية وفوسفات الكرياتين، على التوالى. وعلى الرغم من أنها أقل سمية من الأمونيا وأقل وفرة من اليوريا، إلا أنها أيضًا ضارة محتملة ويجب التخلص منها.

عادةً ما يُعبر عن مستوى الفضلات النيتروجينية فى الدم باسم نيتروجين اليوريا فى الدم)BUN(. التركيز الطبيعى ليوريا الدم هو من 10 إلى 20 ملغ/ديسيلتر. ارتفاع BUN، المسمى ازوتيميا[1])آز-أوه-تى-مى-أه(، قد يشير إلى قصور كلوى. يمكن أن يتطور إلى اليوريميا)يو-رى-مى-أه(، وهو متلازمة تشمل الإسهال، القيء، ضيق التنفس، واضطراب نظم القلب الناجم عن سمية الفضلات النيتروجينية. قد تتبعها نوبات صرع، غيبوبة، والوفاة خلال أيام قليلة. يناقشُ التعمق 23.5 العلاجات لقصور الكلى.

23.1ح الإخراج

الإخراج هو عملية فصل الفضلات عن سوائل الجسم وقياسها خارج الجسم. يتم ذلك بواسطة أربعة أجهزة جسمية:

1. الجهاز التنفسى يطرح ثانى أكسيد الكربون، كميات صغيرة من الغازات الأخرى، والماء.



الشكل 23.2 النفايات النيتروجينية الرئيسية.
كيف يتم إنتاج كل من هذه الفضلات فى الجسم؟

[1] ألنيتروجين = النيتروجين؛ إيميا = حالة الدم

حدد الخصائص الخارجية والداخلية للكلى؛ ب.
تتبع تدفق الدم عبر الكلى؛ ج.
تتبع تدفق السائل عبر الأنابيب الكلوية؛ و د.
وصف الإمداد العصبى للكلى. هـ.

23.2أ الموقع والهياكل المرتبطة

تقع الكليتان مقابل جدار البطن الخلفى عند مستوى الفقرات الصدرية 12 إلى القطنية 3.الكلى اليمنى أقل قليلاً من اليسرى بسبب المساحة التى يشغلها الفص الأيمن الكبير للكبد فوقها.يعبر الضلع 12 منتصف الكلية اليسرى تقريبًا.
الكليتان خلف الصفاق، إلى جانب الحالبين، والمثانة البولية، والشريان والوريد الكلويين، والغدد الكظرية)الشكل 23.3(.

23.2ب التشريح العام

يزن كل كلية حوالى 150 جرامًا ويبلغ طولها حوالى 11 سم، وعرضها 6 سم، وسمكها 3 سم—بحجم قطعة صابون الاستحمام تقريبًا.
السطح الجانبى محدب، والسطح الوسيط مقعر وله شق، وهو الهيلوم الذى يدخل من خلاله الأعصاب الكلوية، والأوعية الدموية، والأوعية اللمفاوية، والحالب.
تحمى الكلية ثلاث طبقات من النسيج الضام)الشكل 23.3(:)1(اللفافة الكلوية الليفية، التى تقع مباشرة تحت الصفاق الجدارى، تربط الكلية والأعضاء المرتبطة بها بجدار البطن؛)2(كبسولة الدهون حول الكلية، وهى طبقة من النسيج الدهنى، توسّد الكلية وتثبتها فى مكانها؛ و)3(الكبسولة الليفية التى تحيط بالكلية مثل غلاف السيلوفان مثبتة عند الهيلوم،

2. يقوم الجهاز الجلدى بإفراز الماء والأملاح غير العضوية واللاكتيت واليوريا فى العرق.
3. لا يقوم الجهاز الهضمى فقط *بالتخلص* من بقايا الطعام)وهى ليست عملية إفراز(بل يقوم أيضًا بنشاط *بإفراز* الماء والأملاح وثانى أكسيد الكربون والدهون وصبغات الصفراء والكوليسترول وغيرها من الفضلات الأيضية.
4. يقوم الجهاز البولى بإفراز مجموعة واسعة من الفضلات الأيضية والسموم والأدوية والهرمونات والأملاح وأيونات الهيدروجين والماء.

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

1. اذكر على الأقل أربع وظائف للكلى بخلاف تكوين البول.
2. أدرج أربعة فضلات نيتروجينية ومصادرها الأيضية.
3. سمِّ بعض الفضلات التى تزيلها ثلاثة أجهزة أخرى غير الجهاز البولى.

APR تشريح الكلية 23.2

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

وصف موقع وشكل الكليتين العام؛ أ.

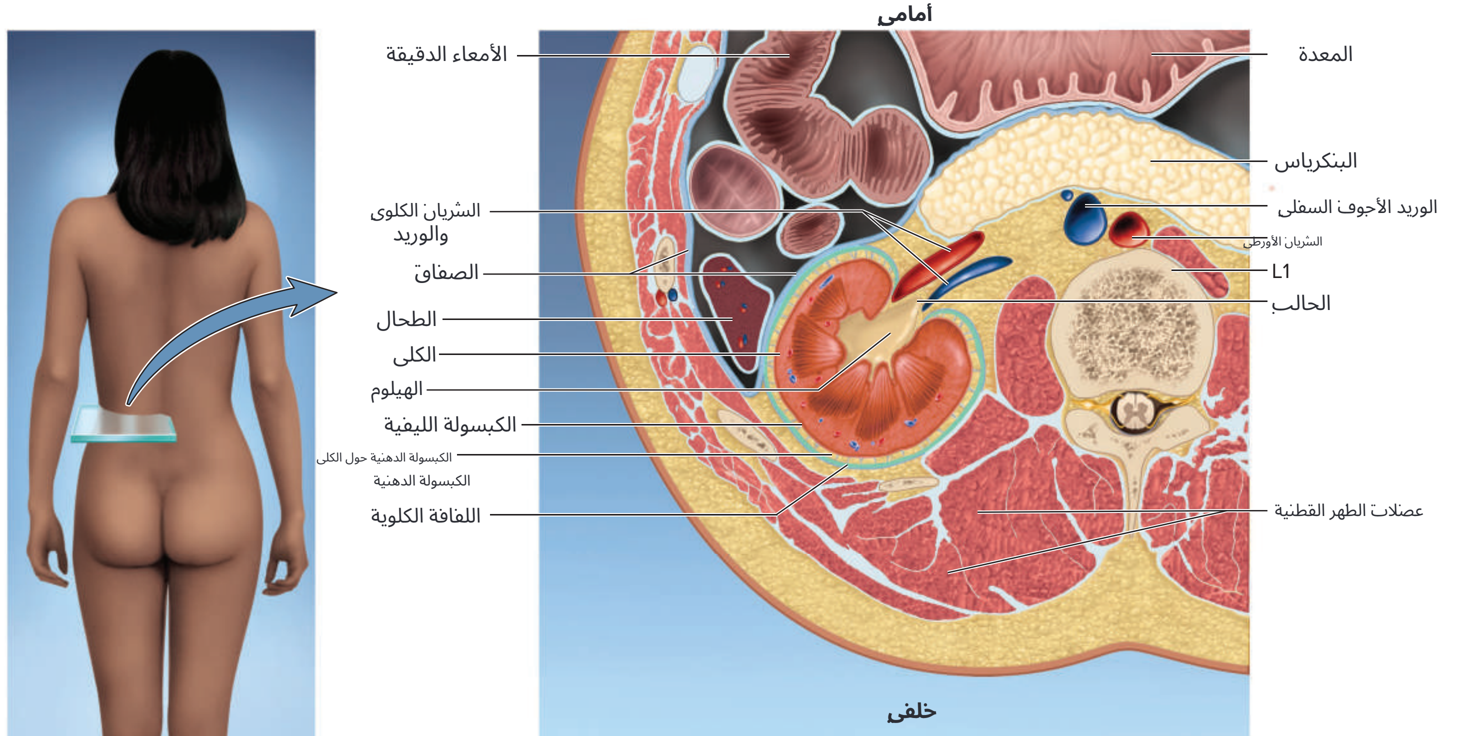
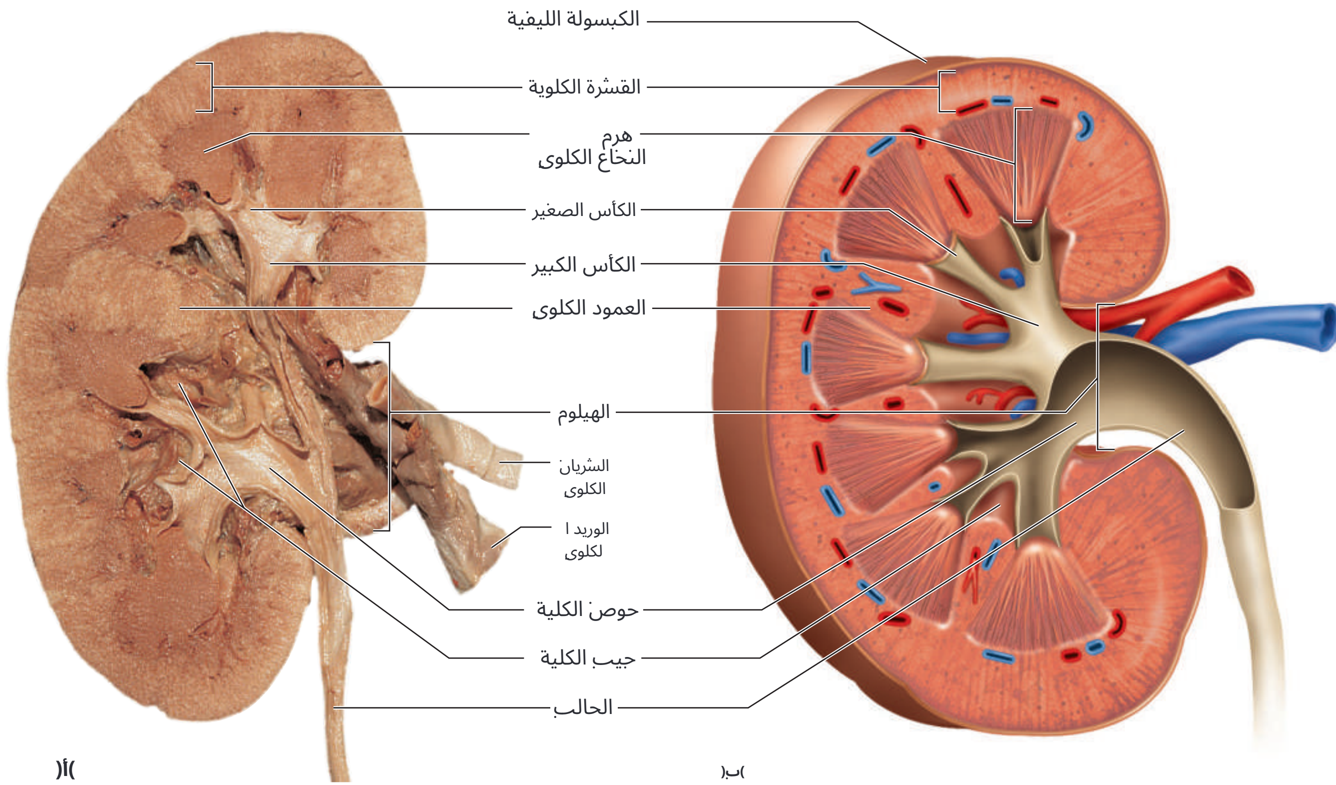


FIGURE 23.3 Retroperitoneal Position of the Kidney. مقطع عرضى للبطن مستوى الفقرة القطنية L1

? *If the kidney were not retroperitoneal, where on this figure would you have to relocate it?*



الشكل 23.4 التشريح الكلى للكلية. مناظر خلفية.)أ(صورة مقطع أمامى.)ب(الميزات التشريحية الرئيسية.
APR تم حذف النسيج الدهنى الذى يملأ عادة الجيب الكلوى لإظهار الهياكل الأخرى التى تشغل الجيب بشكل أفضل.

أ: ريبيكا غراى/مجموعة تشريح وايز/ماكجرو هيل

23.2ح الدورة الدموية الكلوية

تمثل الكليتان فقط 0.4% من وزن الجسم، لكنها تستقبل حوالى 1.1 لتر من الدم فى الدقيقة، أو 21% من النتاج القلبى)الجزء الكلوى(—و ذلك أكثر لغرض إزالة الفضلات منه لتلبية المتطلبات الأيضية لأنسجة الكلية. وهذا يشير إلى مدى أهمية الكليتين فى تنظيم حجم وتركيب ا لدم.

تُظهر الأقسام الأكبر للدورة الدموية الكلوية فى الشكل 23.5. كل كلية تزودها الشريان الكلوى الناشئ من الأبهر. قبل أو بعد دخول اله يلوم، ينقسم الشريان الكلوى إلى عدة شرايين قطاعية، وكل منها ينق سم بدوره إلى عدة شرايين بين الفصوص. يحترق الشريان بين الف صوص كل عمود كلوى ويسير بين الأهرامات نحو تقاطع القشرة والنخ اع. على طول الطريق، يتفرع مرة أخرى ليشكل الشرايين القوسية، ال تى تنحنى بزاوية 90° حادة وتسير على قاعدة الهرم. كل شريان قوسى يعطى عدة شرايين شعاعية قشرية)بين الفصوص(، التى تصعد إلى القشرة.

تُظهر الفروع الدقيقة للدورة الدموية الكلوية فى الشكل 23.6. أ ثناء صعود الشريان الشعاعى القشرى عبر القشرة، تنشأ منه سلسلة م ن السُرَيينات الواردة بزوايا قائمة تقريبًا مثل فروع شجرة الصنوبر. ك ل سُرَيينة واردة تزود وحدة وظيفية واحدة من الكلية تُسمى النفرون[4])NEF-ron(. تؤدى السُرَيينة الواردة إلى كرة من الشعيرا ت الدموية تسمى الكبيبة[5])glo-MERR-you-lus(، محاطة بكب سولة تُسمى كبسولة كلوية. يخرج الدم من الكبيبة عبر السُرَيينة ال صادرة.

ويحميها من الصدمات والعدوى. الكليتان معلقتانبألياف كولاجينية تمتد من الكبسولة الليفية، عبر الدهون،إلى اللفافة الكلوية. اللفافة ال كلوية ملتحمة مع الصفاق من الأمامومع لفافة عضلات الظهر من الخ لف. بالرغم من كل هذا، تنخفض الكليتان حوالى 3 سم عند الانتقال م ن وضع الاستلقاء إلى الوقوف، كما عند النهوض من السرير صباحًا. فى بعض الحالات، تنفصل الكليتان وتتحرك إلى أسفل أكثر، مع نتائج مرضية)انظر تدلى الكلية أو "الكلية العائمة" فى الجدول 23.3(.

النسيج الكلوى — النسيج الغدى الذى يشكل البول — يظهر على شكل حرف C فى المقطع الأمامى)الشكل 23.4(. يحيط بتجويف و سطى، وهو الجيب الكلوى، الذى يشغله الأوعية الدموية واللمفاوية، وا لأعصاب، وهياكل جمع البول. يملأ النسيج الدهنى الفراغ المتبقى فى الجيب ويثبت هذه الهياكل فى مكانها.
ينقسم النسيج البرانشيمى إلى منطقتين: قشرة كلية خارجية بس مك حوالى 1 سم ونخاع كلوى داخلى يواجه الجيب الكلوى. يُسمى الح د الفاصل بين القشرة والنخاع بالوصلة القشرية النخاعية. تمتد من ال قشرة أعمدة كلية تتجه نحو الجيب وتقسم النخاع إلى 6 إلى 10 أهراما ت كلية.
كل هرم مخروطى الشكل، له قاعدة عريضة تواجه القشرة ونقطة عميا ء تُسمى الحلمة الكلوية تواجه الجيب. يشكل هرم واحد والقشرة المغ طاة له فص واحد من الكلية.
تتداخل حلمة كل هرم كلوى فى كوب يُسمى الكأس الصغير[2])CAY-lix(، الذى يجمع البول الخاص به. تتقارب كأسين أ و ثلاثة صغار)CAY-lih-seez(لتشكيل الكأس الكبير، وتتقارب كأسي ن أو ثلاثة كبيرة فى الجيب لتشكيل الحوض الكلوى على شكل قمع.[3] الحالب هو امتداد أنبوبى للحوض الكلوى يقوم بتصريف البول إلى الم ثانة البولية.

---

[4] نيفرو = الكلية
[5] الكلية = كرة؛ الأمة = صغير

[2] الكأس = كوب
[3] الحوض = حوض

الشريان والوريد ا
لإشعاعى القشرى

الشريان والو
ريد بين الفصيصات

الشريان الق
طاعى

هرمالنخا
ع الكلوى

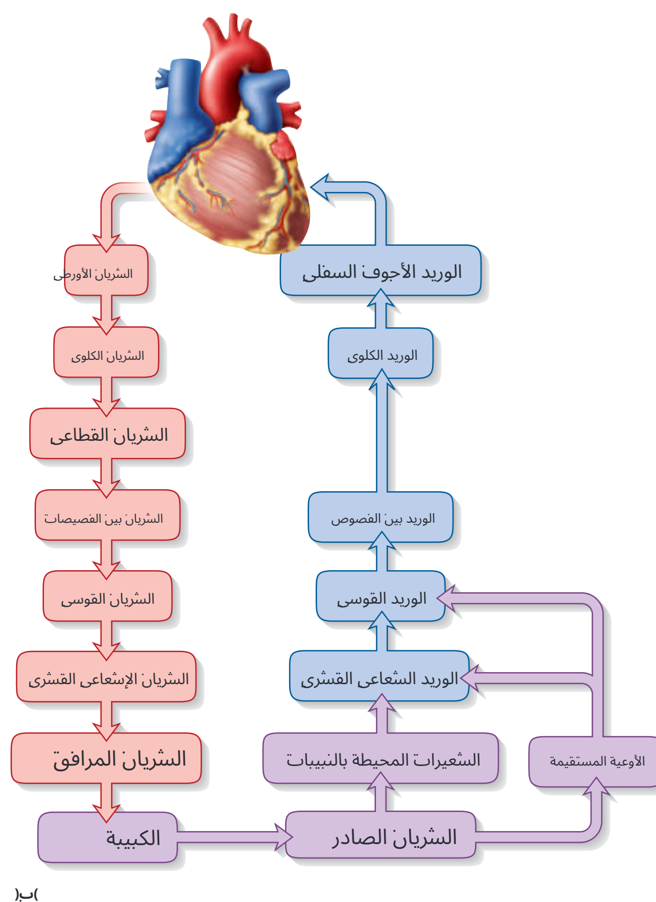


القشرة الكلوية
القشرة الكلوية

الشريان
الكلويوالو
ريد ا
لكلوى

الشريان
والوريد
القوسى

)أ(



)ب(

الشكل 23.5 الدورة الدموية الكلوية.)أ(الأوعية الدموية الأكبر فى الكلية.)ب(مخطط تدفق الدورة الدموية الكلوية. المسار عبر الأوعية المستقيمة)بدلاً من ا لشعيرات المحيطة بالنبيبات(ينطبق فقط على النفرونات المجاورة للنخاع. الشريان الكلوى عبر الشريان الوارد)باللون الوردى(يمثل الإمداد الشريانى للنفرونات ؛ الكبيبة، الشريان الصادر، الشعيرات المحيطة بالنبيبات، والأوعية المستقيمة)باللون البنفسجى(تشكل النظام البابى للأحواض الشعيرية المتصلة؛ والأوردة ال شعاعية القشرية عبر الوريد الكلوى)باللون الأزرق(تشير إلى التصريف الوريدى للكلية.

الماء والذائبات التى تم امتصاصها من قبل تلك الأقسام من الأنبوب. الشكل 23.5ب يلخص مسار تدفق الدم الكلوى.

APR 23.2د النفرون

كل كلية تحتوى على حوالى 1.2 مليون نفرون. لفهم كيفية عمل واحد فقط منها هو فهم تقريبًا كل شىء عن كيفية عمل الكلية بأكملها. يتكو ن كل نفرون من جزأين رئيسيين: *الجسم الكلوى*، الذى يرشح بلازما ا لدم، *والأنبوب الكلوى* الطويل الملفوف، الذى يحول الراشح إلى بول.

الجسم الكلوى

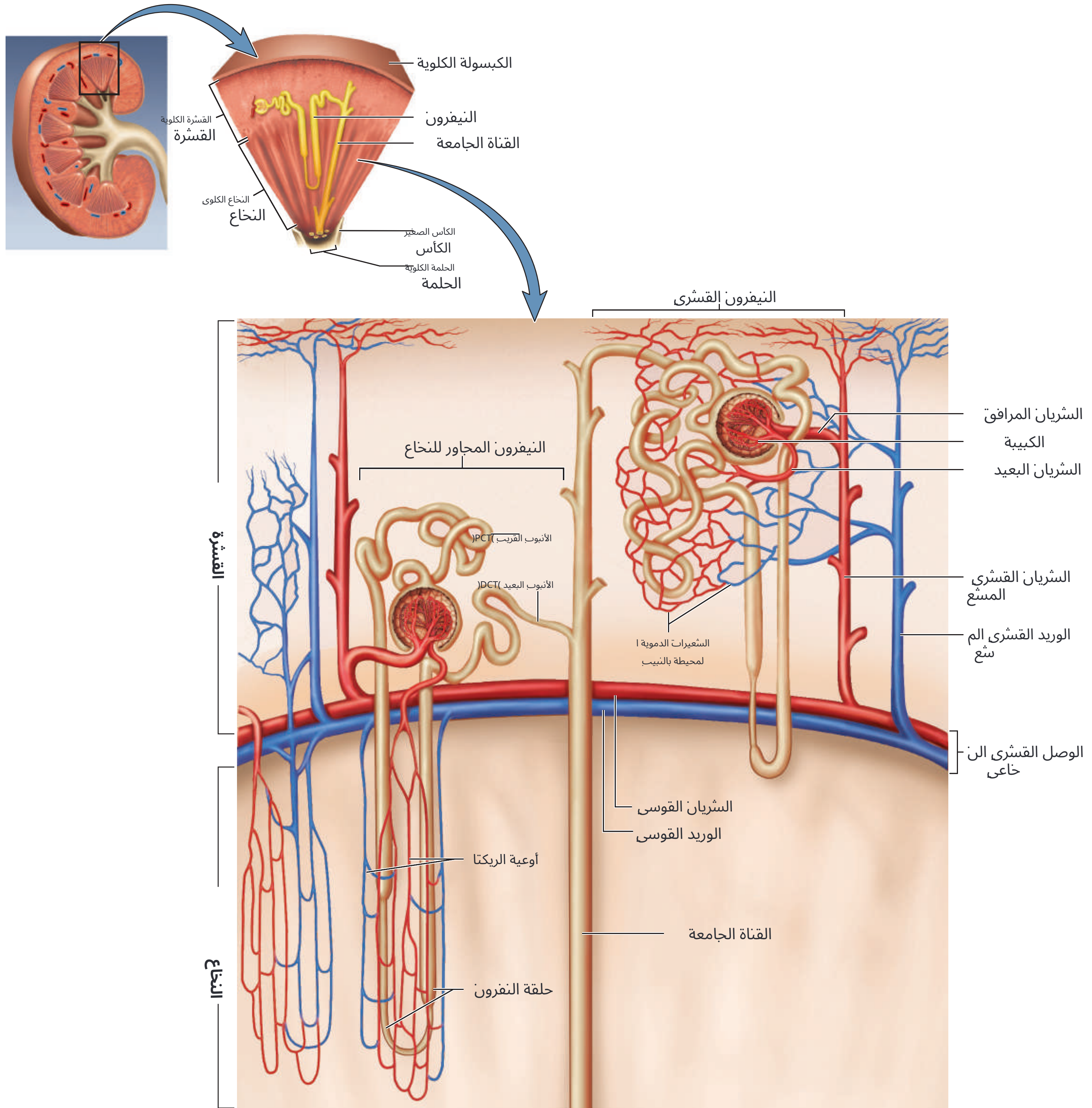
الكرية الكلوية)الشكل 23.7(تتكون من الكبيبة التى تم وصفها سابقًا وكبسولة كلوية ذات طبقتين)كانت تُسمى سابقًا كبسولة بومان(تحي ط بها. الطبقة الجدارية)الخارجية(من الكبسولة هى طهارة حرشفية بسيطة، والطبقة الحشوية)الداخلية(تتكون من خلايا معقدة تسمى ا لخلايا الكلوية)بودوسايتس(ملفوفة حول شعيرات الكبيبة. تفصل بي ن الطبقتين مساحة كبسولية تجمع الترشيح. فى مقاطع الأنسجة، تظ هر هذه المساحة كفراغ دائرى أو على شكل حرف C حول الكبيبة.

عادةً ما يؤدى الشريان البعيد إلى شبكة من الشعيرات الدموية ح ول الأنابيب، المسماة بذلك لأنها تشكل شبكة حول جزء آخر من النفر ون، وهو الأنبوب الكلوى. يقوم الأنبوب الكلوى بإعادة امتصاص معظ م الماء والذائبات التى تترشح من الدم فى الكبيبة ويعيدها إلى مجرى الدم عبر هذه الشعيرات الدموية حول الأنابيب. تحمل الشعيرات الدم وية حول الأنابيب الدم إلى الأوردة الإشعاعية القشرية)بين الفصوص(، الأوردة القوسية، الأوردة بين الفصوص، والوريد الكلوى، بهذا الترتي ب. تسير هذه الأوردة موازية للشرايين التى تحمل نفس الأسماء.)وم ع ذلك، لا توجد أوردة قطاعية مقابلة للشرايين القطاعية.(يغادر الوريد الكلوى الهيلوم ويفرغ فى الوريد الأجوف السفلى.

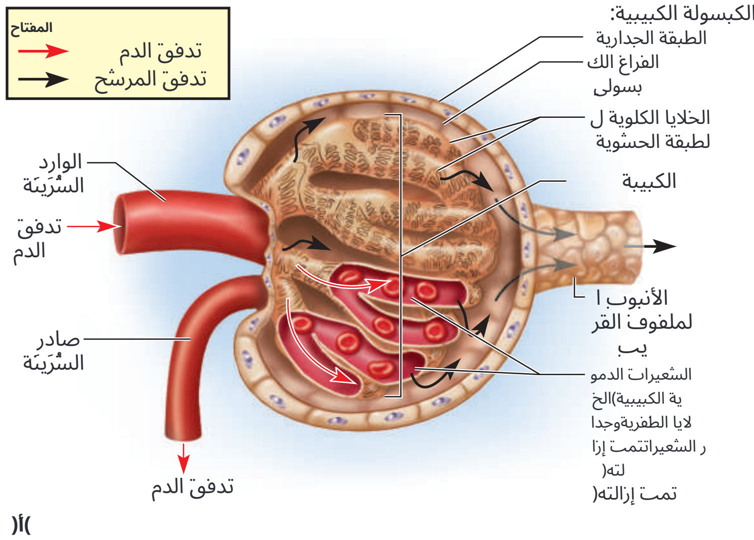
تستقبل النخاع الكلوى فقط 1% إلى 2% من إجمالى تدفق الدم ا لكلوى، ويزودها شبكة من الأوعية تسمى الأوعية المستقيمة (VAH 6 za REC-ta-). تنشأ هذه من الشرايين البعيدة للنفرون ات الأقرب إلى النخاع. هنا، تنزل الشرايين البعيدة مباشرة إلى النخاع وتعطى نشوء الأوعية المستقيمة بدلاً من الشعيرات الدموية حول الأ نابيب. تؤدى شعيرات الأوعية المستقيمة إلى الأوردة الصغيرة التى تصعد وتفرغ فى الأوردة القوسية والإشعاعية القشرية. تتوضع شعيرا ت الأوعية المستقيمة فى الفراغات الضيقة بين أجزاء النخاع من الأن بوب الكلوى، وتحمل

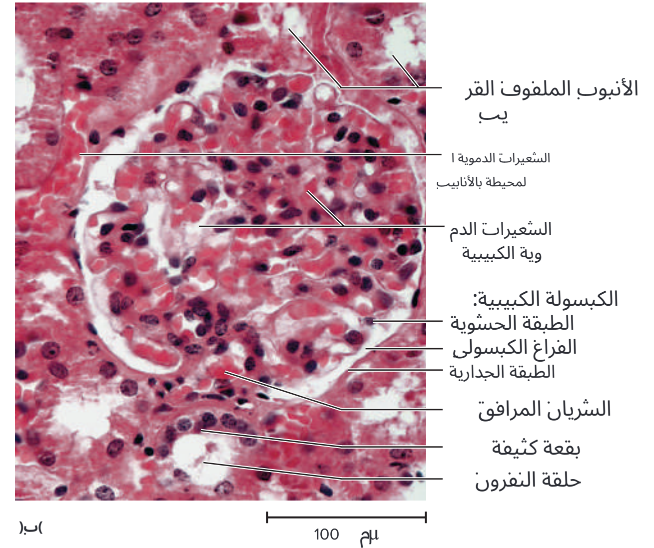
بودو = قدم؛ *سايت* = خلية

فاسا = أوعية؛ *ريكتا* = مستقيم



الشكل 23.6 الدورة الدموية الدقيقة للكلى. للوضوح، تظهر أوعية الريكتا فقط على الجانب الأيسر والشعيرات المحيطة بالأنابيب فقط على الجانب الأيمن. فى النفرون المجاور للنخاع)يسار(، ينشأ الشريان الخارج إلى أوعية الريكتا للنخاع. فى النفرون القشرى)يمين(، يكاد حلقة النفرون تغوص فى النخاع الكلوى و ينشأ الشريان الخارج إلى الشعيرات المحيطة بالأنابيب.)DCT = الأنبوب الملتوى البعيد؛ PCT = الأنبوب الملتوى القريب(





الشكل 23.7 الجسم الكلوي.)أ(تشريح الجسم.)ب(صورة ضوئية للجسم الكلوي وقطاعات من APR الأنبوب الكلوي المحيط.

ب: ألفين تيلسر/ماكجرو هيل

ينتقل الأنبوب الملفوف القريب إلى وضع مستقيم وينخفض نحو أو داخل النخاع، مكونًا الطرف النازل للحلقة. عند نهايتها العميقة، تدور الحلقة 180° وتشكل الطرف الصاعد الذي يعود إلى القشرة، مسافرًا موازيًا وقريبًا من الطرف النازل. تنقسم الحلقة إلى أجزاء سميكة ورقيقة. الأجزاء السميكة لها طهارة مكعبة بسيطة. تشكل الجزء الأول من الطرف النازل وجزءًا أو كل الطرف الصاعد. الخلايا هنا نشطة جدًا في النقل النشط للأملاح، لذا فهي ذات نشاط أيضي مرتفع جدًا ومليئة بالميتوكندريا، مما يفسر سمكها.

الجزء الرقيق له طهارة حرشفية بسيطة. يشكل معظم الطرف النازل، وفي بعض النفرونات، يلتف عند الانعطاف ويستمر جزئيًا في الطرف الصاعد. الخلايا هنا ذات نشاط أيضي منخفض، لكن الجزء الرقيق من الطرف النازل نفاذ جدًا للماء.

3. الأنبوب الملفوف البعيد)DCT(يبدأ بعد فترة وجيزة من دخول الطرف الصاعد إلى القشرة. هو أقصر وأقل التواءً من الأنبوب الملفوف القريب، لذلك تظهر مقاطعاته أقل في المقاطع النسيجية. له طهارة مكعبة مع خلايا ذات سطح أملس تكاد تخلو من الزغابات الدقيقة. الأنبوب الملفوف البعيد هو نهاية النفرون.

4. قناة التجميع تستقبل السائل من الأنابيب الملفوفة البعيدة لعدة نفرونات أثناء مرورها عائدة إلى النخاع. تتقارب العديد من قنوات التجميع نحو قمة هرم النخاع، وقرب الحلمة، تندمج لتشكل قناة أكبر الحلمة-
القناة الحنجرية. تنتهي حوالي 30 قناة حليمية في مسام عند الطرف المخروطي لكل حليمة. يتدفق البول من هذه المسام إلى الكأس الصغير الذي يحيط بالحليمة. تبطن القنوات الجامعة والحليمية بطبقة طلائية مكعبة بسيطة.

تدفق السائل من النقطة التي يتكون فيها الترشيح الكبيبي إلى النقطة التي يخرج فيها البول من الجسم هو: الكبسولة الكبيبية ← النبيب الملتوي القريب ← حلقة النبيب ← النبيب الملتوي البعيد ← القناة الجامعة ← القناة الحليمية ← الكأس الصغير ← الكأس الكبير ← الحوض الكلوي ← الحالب ← المثانة البولية ← الإحليل .

تُسمى الجوانب المقابلة للجسم الكلوي بالقطبين الوعائي والبولي. عند القطب الوعائي، يدخل الشريان الوارد إلى الكبسولة، حاملاً الدم إلى الكبيبة، ويخرج الشريان الصادر من الكبسولة حاملاً الدم بعيدًا. يكون الشريان الوارد أكبر بكثير من الشريان الصادر. وبالتالي، تمتلك الكبيبة مدخلًا كبيرًا ومخرجًا صغيرًا — وهي نقطة ستتضح أهميتها الوظيفية لاحقًا. عند القطب البولي، ينحرف الجدار الجداري للكبسولة بعيدًا عن الجسم الكلوي وينشأ منه النبيب الكلوي. يتحول الطهارة الحرشفية البسيطة للكبسولة إلى طهارة مكعبة بسيطة في النبيب.

المساحات بين الشعيرات الدموية للكبيبة مليئة بخلايا الميزانجيال[8])ميز-آن-جي-أول(. فهي تدعم الشعيرات الدموية ماديًا، وتساعد في تنظيم تدفق الدم في الكبيبة، وتبتلع حطام الأنسجة، مما يمنع انسداد غشاء الترشيح الكبيبي.

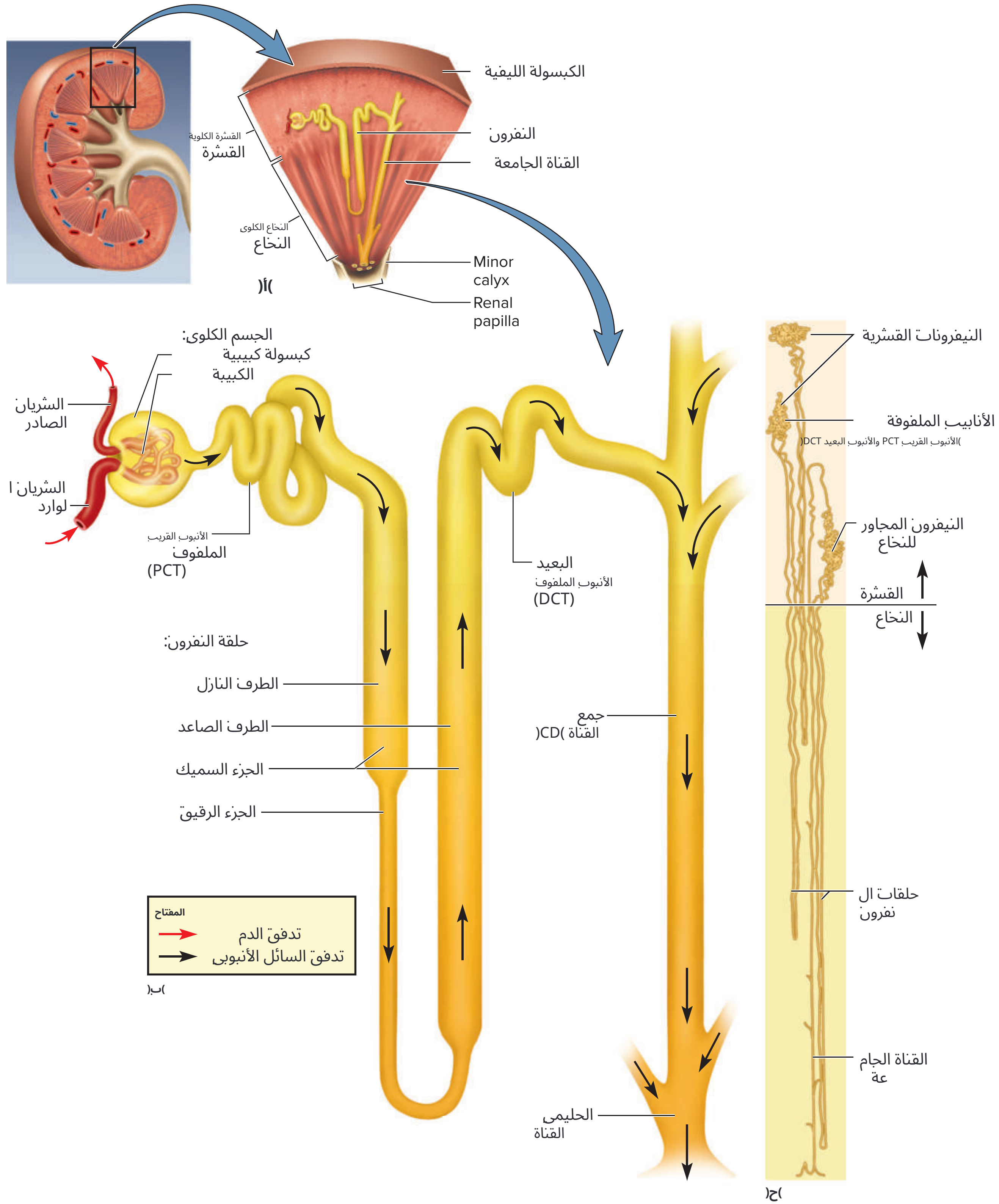
الأنبوب الكلوي

الأنبوب الكلوي هو قناة تمتد بعيدًا عن كبسولة الكبيبة وتنتهي عند قمة هرم النخاع. يبلغ طوله حوالي 3 سم وينقسم إلى أربعة مناطق: الأنبوب الملفوف القريب، حلقة النفرون، الأنبوب الملفوف البعيد، وقناة التجميع)الشكل 23.8(. الثلاثة الأولى هي أجزاء من نفس النفرون؛ بينما تستقبل قناة التجميع السائل من عدة نفرونات. لكل منطقة خصائص فسيولوجية فريدة وأدوار في إنتاج البول.

1. الأنبوب الملفوف القريب)PCT(ينشأ من كبسولة الكبيبة. وهو الأطول والأكثر التواءً من بين المناطق الأربع، ولذلك يهيمن على المقاطع النسيجية لقشرة الكلية. له طهارة مكعبة بسيطة مع زغابات دقيقة بارزة)حدود فرشاة(، مما يدل على كمية الامتصاص الكبيرة التي تحدث هنا. تعطي الزغابات الدقيقة الطهارة مظهرًا مميزًا خشنًا.

2. حلقة النفرون)حلقة هينلي(هي جزء طويل على شكل حرف U من الأنبوب الكلوي يوجد غالبًا في النخاع. تبدأ حيث

[8] mes= في الوسط؛ angi = الأوعية



الشكل 23.8 التشريح المجهرى للنفرون.)أ(موقع النفرونات فى فص واحد على شكل إسفين من الكلية.)ب(تركيب النفرون. لتوضيح أفضل، تم تمديد النفرون لفصل الأنابيب الملفوفة. تم تقصير حلقة النفرون بشكل كبير لغرض التوضيح.)ج(النسب الحقيقية لحلقات النفرون بالنسبة للأنابيب الملفوفة. تم عرض ثلاثة نفرونات. أنابيبها الملفوفة القريبة والبعيدة مختلطة فى كتلة متشابكة واحدة فى كل نفرون. لاحظ الأطوال الشديدة لحلقات النفرون.

APR

23.3 تكوين البول الأول: الترشيح الك بيبى

APR

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف العملية التى يرشح بها الكلى بلازما الدم، بما فى ذلك البنية الخلوية ذات الصلة بالكبيبة؛

ب. شرح القوى التى تعزز وتعارض الترشيح، وحساب ضغط الترشيح إ ذا تم إعطاء مقدار هذه القوى؛ و

ج. وصف كيف ينظم الجهاز العصبى، والهرمونات، والنفرون نف سه الترشيح.

تحول الكلية بلازما الدم إلى بول فى أربع مراحل: الترشيح الكبيبى، إعاد ة الامتصاص الأنبوبى، الإفراز الأنبوبى، والحفاظ على الماء)انظر الشك ل 23.9(. هذه هى المواضيع فى الأقسام الثلاثة التالية من الفصل. أ ثناء تتبع السائل عبر النفرون، سنشير إليه بأسماء مختلفة تعكس تغير تركيبه:)1(السائل فى الفراغ الكبسولى، المسمى الترشيح الكبيبى)g lomerular filtrate(، يشبه بلازما الدم باستثناء أنه ي حتوى على بروتينات قليلة جدًا.)2(السائل من الأنبوب الملفوف القر يب حتى الأنبوب الملفوف البعيد يسمى السائل الأنبوبى)tubular fl uid(. يختلف عن الترشيح الكبيبى بسبب المواد ا لتى أُزيلت وأُضيفت بواسطة خلايا الأنبوب.)3(يُسمى السائل بولًا)u rine(بمجرد دخوله القناة الجامعة، حيث يخضع لتغييرا ت طفيفة بعد هذه النقطة باستثناء تغير فى محتوى الماء.

23.3a غشاء الترشيح

الترشيح الكبيبى، الذى نناقشه فى هذا القسم، هو عملية يمر فيها الما ء وبعض المذاب فى بلازما الدم من شعيرات الكبيبة إلى الفراغ الكب سولى للنفرون. للقيام بذلك، يمر السائل عبر ثلاث حواجز تشكل غشاء الترشيح)انظر الشكل 23.10(:

1. البطانة المسامية للشعيرات الدموية. خلايا البطانة فى شعيرات الكبيبة مليئة بمسام ترشيح كبيرة يبلغ قطرها حوالى 70 إلى 90 نانومتر)انظر الشكل 20.5ب(. مثل الشعيرات المسام ية فى أماكن أخرى، فهى شديدة النفاذية، على الرغم من أن م سامها صغيرة بما يكفى لمنع خلايا الدم من المرور إلى الترشيح .

2. الغشاء القاعدى. يتكون هذا من هلام البروتيوغليكان. تمرير الجز يئات الكبيرة من خلاله يشبه محاولة طحن الرمل عبر إسفنجة المطبخ: قد تخترق بعض الحبيبات الصغيرة مساحاته الضي قة وتصل إلى الجانب الآخر، لكن معظمها سيُحجز. بناءً على الح جم فقط، يستبعد الغشاء القاعدى الجزيئات الأكبر من ٨ نان ومتر. حتى بعض الجزيئات الأصغر، مع ذلك، تُحجز بسبب الشحنة السالبة على البروتيوغليكانات. الألبومين الدموى هو

النيفرونات المجاورة للنخاع والقشرية

ليست كل النفرونات متطابقة. تلك القريبة من النخاع تُسمى نفرونات مجاورة للنخاع)juxtamedullary nephrons(. لديها حلقات نفرون ية طويلة جدًا تمتد حتى قمة الهرم الكلوى. أما النفرونات المتبقية، الأ بعد عن النخاع، فتُسمى نفرونات قشرية)cortical nephrons(. لديه ا حلقات نفرونية قصيرة نسبيًا تغوص قليلاً فقط فى النخاع الخارجى قبل أن تعود)انظر الشكل 23.6(أو تعود حتى قبل مغادرة القشرة. بع ض منها لا يحتوى على حلقات نفرونية على الإطلاق. كما سترى لاحقًا ، حلقات النفرون مسؤولة عن الحفاظ على تدرج أسموزى فى النخاع يساعد الجسم على حفظ الماء. على الرغم من أن 15% فقط من النفر ونات هى مجاورة للنخاع، إلا أنها مسؤولة تقريبًا بشكل كامل عن الح فاظ على هذا التدرج.

23.2e التعصيب الكلوى

تلتف حول كل شريان كلوى ضفيرة كلوية)renal plexus(من الأع صاب والعقد)انظر الشكل 15.6(. تتبع الضفيرة فروع الشريان الكلوى داخل نسيج الكلية، مطلقة أليافًا عصبية للأوعية الدموية والأنابيب الم لفوفة للنفرونات. تحمل الضفيرة الكلوية التعصيب الودى من ضفيرة الأبهر البطنى)وخاصة عقدة المساريق العلوية والعقدة المعوية(بالإ ضافة إلى ألياف الألم الصادرة من الكليتين فى طريقها إلى الحبل ال شوكى. يحفز التعصيب الودى للضفيرة الكلوية تقليل تدفق الدم فى ا لكبيبات وبالتالى تقليل إنتاج البول، على الرغم من أن هذه المعدلات تتأثر بعوامل أخرى أيضًا. دور آخر للألياف الودية هو الاستجابة لانخفا ض ضغط الدم عن طريق تحفيز الكليتين على إفراز الرينين)renin(، وهو إنزيم ينشط الآليات الهرمونية لاستعادة ضغط الدم. كما تستقبل الكليتان تعصيبًا نظيرًا ودياً من فروع العصب المبهم، لكن وظيفته غ ير معروفة.

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

4. رتب التالى من الأكثر عددًا إلى الأقل عددًا من الهياكل فى الكلية: ا لكبيبات، الحوضيات الكبرى، الحوضيات الصغرى، الشرايين القشر ية الشعاعية، الشرايين بين الفصوص.

5. تتبع المسار الذى تسلكه خلية دم حمراء واحدة من الشريان الكلوى إلى الوريد الكلوى.

6. اعتبر جزيء واحد من اليوريا فى البول. تتبع المسار الذى سلكه من ا لنقطة التى غادر فيها مجرى الدم إلى النقطة التى غادر فيها الجسم .

[9]جوستا = بجانب

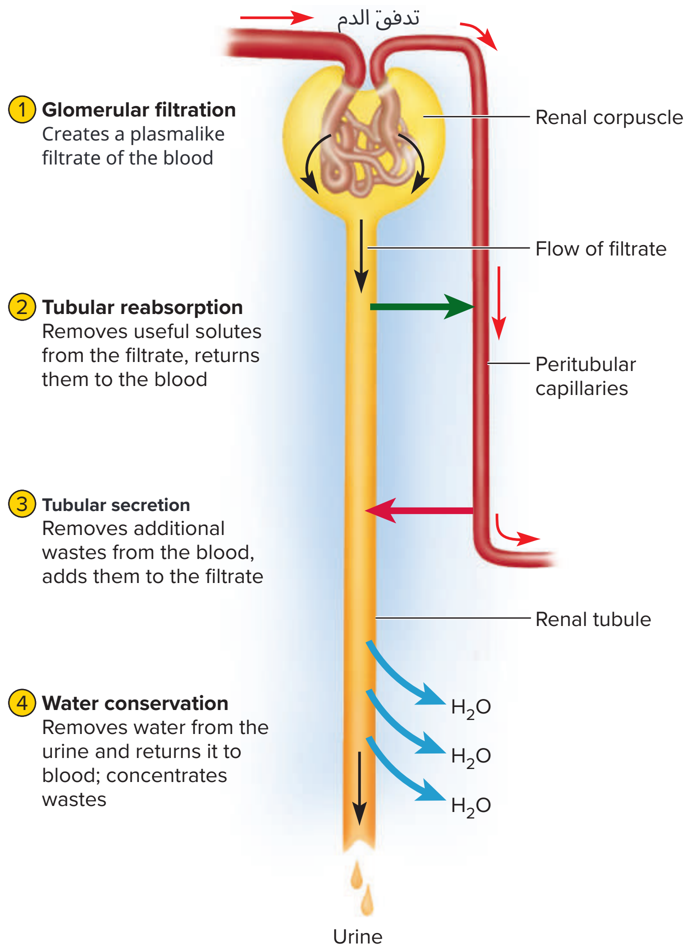


FIGURE 23.9 Basic Stages of Urine Formation. Steps 2 and 3 occur simultaneously.

أصغر قليلاً من ٧ نانومتر، ولكنه أيضًا مشحون سلبًا وبالتالي يُرفض بواسطة الغشاء القاعدى. على الرغم من أن بلازما الدم تحتوى على ٧٪ بروتين، فإن الترشيح الكبيبى يحتوى فقط على ٠.٠٣٪بروتين. يحتوى على آثار من الألبومين وببتيدات صغيرة الحجم، بما فى ذلك بعض الهرمونات.

3. شقوق الترشيح. خلية بودوسايت فى كبسولة الكبيبة تأخذ شكلاً يشبه إلى حد ما الأخطبوط، بجسم خلوى منتفخ وعدة أذرع سميكة. كل ذراع يحتوى على امتدادات عديدة تُسمى عمليات القدم) pedicels[10] التى تلتف حول الشعيرات الدموية وتتداخل مع بعضها البعض، مثل لف يديك حول أنبوب وربط أصابعك معًا. تحتوى عمليات القدم على شقوق ترشيح سالبة الشحنة **filtration slits** بعرض حوالى 30 نانومتر بينها، والتى تشكل عقبة إضافية للأنيونات الكبيرة.

يمكن لأى جزىء أصغر من 3 نانومتر تقريبًا المرور بحرية عبر غشاء الترشيح إلى الفراغ الكبسولى)الشكل 23.11(. يشمل ذلك الماء، والإلكتروليتات، والجلوكوز، والأحماض الدهنية، والأحماض الأمينية، والنفايات النيتروجينية، والفيتامينات. تمتلك هذه المذابّات تركيزًا مشابهًا تقريبًا فى مرشح الكبيبة كما فى بلازما الدم.
ومع ذلك، يتم الاحتفاظ ببعض المذابّات ذات الوزن الجزيئى المنخفض فى مجرى الدم لأنها مرتبطة ببروتينات البلازما التى لا يمكنها المرور عبر الغشاء. على سبيل المثال، يرتبط معظم الكالسيوم والحديد وهرمون الغدة الدرقية فى الدم ببروتينات تعيق ترشيحها عبر الكلى. ومع ذلك، فإن الجزء الصغير غير المرتبط يمر بحرية عبر الغشاء ويظهر فى البول.

يمكن أن تتلف التهابات الكلى والصدمات غشاء الترشيح وتسمح بمرور الألبومين أو خلايا الدم عبره.
يتميز مرض الكلى أحيانًا بوجود بروتين)وخاصة الألبومين(أو دم فى البول—حالات تُسمى البروتينوريا)الألبومينوريا(و الهيماتوريا[11] على التوالى. يعانى العداؤون لمسافات طويلة والسباحون التنافسيون أحيانًا من بروتينوريا وهيماتوريا مؤقتتين. يقلل التمرين الشاق بشكل كبير من تدفق الدم إلى الكلى، ويتدهور الكبيبة تحت تأثير نقص الأكسجة المطول، مما يؤدى إلى تسرب البروتين وأحيانًا الدم إلى المرشح.

23.3ب ضغط الترشيح

يتبع الترشيح الكبيبى نفس المبادئ التى تحكم الترشيح فى الشعيرات الدموية الأخرى)انظر القسم 20.3ح(، لكن هناك اختلافات كبيرة فى حجم القوى المشاركة:

- ضغط الدم الهيدروستاتيكى)BHP(هنا أعلى بكثير منه فى أماكن أخرى—حوالى 60 ملم زئبق مقارنة بـ 10 إلى 15 ملم زئبق فى معظم الشعيرات الدموية الأخرى. ينتج هذا عن حقيقة أن الشريان الموصّل أكبر بكثير من الشريان البعيد، مما يمنح الكبيبة مدخلًا كبيرًا ومخرجًا صغيرًا)الشكل 23.10أ(.

- ضغط الهيدروستاتيكى فى الفراغ الكبسولى حوالى 18 ملم زئبق، مقارنة بالضغوط الخلوية السلبية قليلاً فى أماكن أخرى. ينتج هذا عن معدل الترشيح العالى والتراكم المستمر للسائل فى الكبسولة.

- الضغط الاسموزى الغروانى)COP(للدم حوالى 32 ملم زئبق.

- الترشيح الكبيبى خالٍ تقريبًا من البروتين ولا يحتوى على ضغط أسموزى كولودى)COP(ذى أهمية.)يمكن أن يتغير هذا بشكل ملحوظ فى أمراض الكلى التى تسمح بترشيح البروتين إلى

الفراغ الكبسولى.(بالتالى، لدينا ضغط خارجى مرتفع يبلغ 60 ملم زئبق، مقابل ضغطين داخليين بقيمة 18 و32 ملم زئبق)الشكل 23.12(، مما يعطى ضغط الترشيح الصافى)NFP(بقيمة

$$60_{out} - 18_{in} - 32_{in} = 10 \text{ mm Hg}_{out}.$$

[10]*pedi* = foot; *cel* = little

[11]*hemat* = blood; *ur* = urine; *ia* = condition



الشكل ١.٣٢ هيكل الكبيبة.)أ(قالب وعائى للكبيبة والشرايين المرتبطة بها)المجهر الإلكترونى الماسح(. لاحظ الفرق فى الأقطار بين الشريان الوارد والشريان الصادر.)ب(شعيرات دموية للكبيبة ملفوفة بإحكام فى الخلايا الطلية العنكبوتية التى تشكل الطبقة الحشوية لكبسولة الكبيبة)المجهر الإلكترونى الماسح(.)ح(شعيرة دموية وخلايا طلية تُظهر مسام الترشيح فى الشعيرة المثقبة وشقوق الترشيح بين العمليات القدمية للخلايا الطلية)المجهر الإلكترونى النافذ(.

أيهما أكبر، الشريان الصادر أم الشريان الوارد؟ كيف يؤثر هذا الاختلاف على وظيفة الكبيبة؟

أ: ستيف غشمايسنر/Getty Images؛ ب: دون و. فوسيت/Science Source؛ ح: Biophoto Associates/Science Source

الفشل يؤدى إلى تفاقم ارتفاع ضغط الدم فى حلقة إيجابية خبيثة
حلقة التغذية الراجعة.

ح23.3 معدل الترشيح الكبيبى

معدل الترشيح الكبيبى)GFR(هو كمية المرشح المتكونة فى الدقيقة بواسطة الكليتين معًا. لكل 1 مم زئبق من الضغط الصافى ضغط الترشيح، تنتج كلى الرجل البالغ حوالى

- 12.5 مل من المرشح فى الدقيقة. تُسمى هذه القيمة *معامل الترشيح*
- *المعامل)K)f يعتمد على نفاذية ومساحة سطح حاجز الترشيح.*

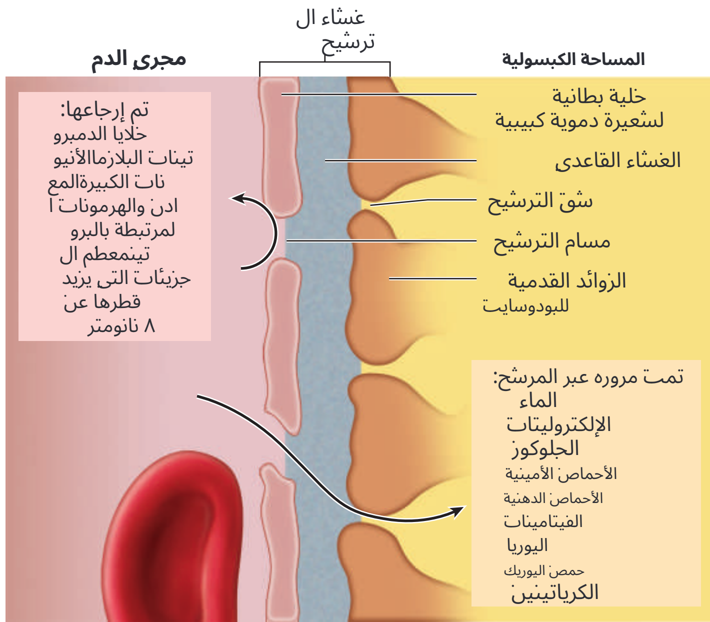
المعامل K f أقل بحوالى 10٪ لدى النساء مقارنة بالرجال. بالنسبة للذكور،

$$GFR = NFP \times K_f = 10 \times 12.5 = 125\ mL/min.$$

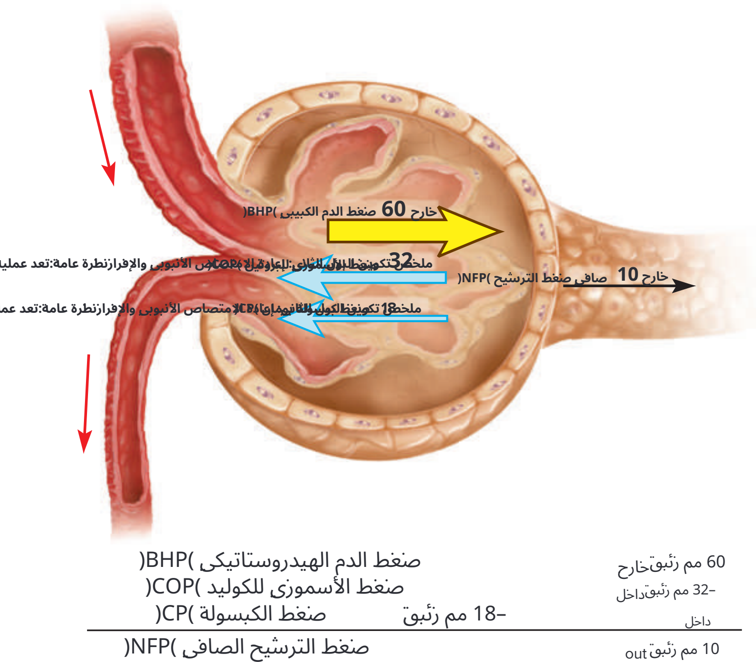
فى الإناث البالغات الشابات، معدل الترشيح الكبيبى حوالى ١٠٥ مل/دقيقة.

فى معظم الشعيرات الدموية الدموية، ينخفض ضغط الدم الهيدروستاتيكى)BHP(بما فيه الكفاية عند النهاية الوريدية بحيث تتغلب عملية التناضح على الترشيح وتقوم الشعيرات الدموية بإعادة امتصاص السوائل. على الرغم من أن ضغط الدم الهيدروستاتيكى)BHP(ينخفض أيضًا على طول مسار الشعيرات الدموية الكبيبية، إلا أنه يظل مرتفعًا بما يكفى بحيث تكون هذه الشعيرات الدموية منخرطة فقط فى الترشيح. فهى تعيد امتصاص القليل أو لا تعيد امتصاص أى سوائل.

الضغط الدموى العالى فى الكبيبات يجعل الكليتين عرضتين بشكل خاص لارتفاع ضغط الدم، الذى يمكن أن يكون له تأثيرات مدمرة على وظيفة الكلى. يؤدى ارتفاع ضغط الدم إلى تمزق الكبيبات الشعيرات الدموية وتؤدى إلى تندب الكلى *)تصلب الكلى(.* إنه يعزز تصلب الشرايين فى الأوعية الدموية الكلوية تمامًا كما يفعل فى أماكن أخرى من الجسم، مما يقلل بالتالى من إمداد الدم للكلى. مع مرور الوقت، غالبًا ما يؤدى ارتفاع ضغط الدم إلى فشل كلوى و



الشكل 23.11 غشاء الترشيح الكبيبى.
الجزيئات الصغيرة تمر عبر الغشاء إلى المرشح
)اليمين(والجزيئات الأكبر تُعاد وتُحتجز فى
مجرى الدم)يسار(.



الشكل ٢١.٣٢ القوى المشاركة فى الترشيح الكبيبى.

هذه المعدلات تعادل 180 لتر/يوم عند الذكور و150 لتر/يوم عند الإناث — أرقام مثيرة للإعجاب بالنظر إلى أن هذا يعادل حوالى 60 ضعف كمية الدم فى الجسم و50 إلى 60 ضعف كمية الترشيح التى تنتجها جميع الشعيرات الدموية الأخرى مجتمعة.
من الواضح أن جزءًا صغيرًا فقط من هذا يُطرح على شكل بول. يعيد البالغ العادى امتصاص 99% من الترشيح ويطرح 1 إلى 2 لتر من البول يوميًا.

23.3د تنظيم الترشيح الكبيبى

يجب التحكم بدقة فى معدل الترشيح الكبيبى)GFR(. إذا كان مرتفعًا جدًا، ى تدفق السائل عبر الأنابيب الكلوية بسرعة كبيرة بحيث لا تتمكن من إعادة ام تصاص الكمية المعتادة من الماء والذائبات. يرتفع إنتاج البول ويخلق تهديدًا للجفاف ونقص الكهارل. إذا كان معدل الترشيح الكبيبى منخفضًا جدًا، يتدف ق السائل ببطء عبر الأنابيب، مما يؤدى إلى إعادة امتصاص الفضلات التى يجب التخلص منها فى البول، وقد يحدث تسمم نيتروجينى)azotemia(.

الطريقة الوحيدة لضبط معدل الترشيح الكبيبى من لحظة إلى أخر ى هى تغيير ضغط الدم الكبيبى. ويتم تحقيق ذلك من خلال ثلاث آليا ت تنظيم ذاتى: التنظيم الذاتى الكلوى، التحكم الودى، والتحكم الهرمو نى.

التنظيم الذاتى الكلوى

التنظيم الذاتى الكلوى هو قدرة النيفرونات على تعديل تدفق الدم ومع دل الترشيح الكبيبى بنفسها دون تحكم خارجى)عصبى أو هرمونى(. ى تيح لهم ذلك الحفاظ على معدل ترشيح كبيبى مستقر نسبيًا على الرغ م من التغيرات فى ضغط الدم الشريانى. إذا ارتفع متوسط ضغط الدم الشريانى)MAP(من 100 إلى 125 ملم زئبق ولم يكن هناك تنظيم ذ اتى كلوى، لكان إنتاج البول قد ازداد من 1 إلى 2 لتر/يوم إلى أكثر من 45 لتر/يوم — وهى كمية سائلة أكبر من الموجودة فى الجسم كله. وم ع ذلك، بسبب التنظيم الذاتى الكلوى، يزداد إنتاج البول بنسبة قليلة فقط حتى إذا ارتفع MAP إلى 160 ملم زئبق. يساعد التنظيم الذاتى ا لكلوى بذلك على ضمان توازن مستقر للسوائل والكهارل على الرغم م ن الظروف العديدة التى تغير ضغط الدم بشكل كبير. هناك آليتان لل تنظيم الذاتى: الآلية العضلية الذاتية)الميوجينية(ورد الفعل الأنبوبى ا لكبيبى.

الآلية العضلية[12] *هذه الآلية لتثبيت معدل الترشيح الكبيبى)GFR(تع تمد على ميل العضلات الملساء للانقباض عند التمدد. عندما يرتفع ضغط الدم الشريانى، يتمدد الشريان المقدم. ينقبض الشريان ويمنع تغير تدفق الدم إلى الكبيبة بشكل كبير. وعلى العكس، عندما ينخفض ضغط الدم، يرتخى الشريان المقدم ويسمح بتدفق الدم بسهولة أكبر إ لى الكبيبة. فى كلتا الحالتين، يظل تدفق الدم الكبيبى والترشيح مس تقرين إلى حد كبير.*

التغذية الراجعة الأنبوبية الكبيبية هذه آلية يحصل من خلالها الكبيبة ع لى تغذية راجعة حول حالة السائل الأنبوبى اللاحق وتضبط الترشيح ل تنظيم تركيبه، تثبيت أداء النفرون، والتعويض عن التقلبات فى ضغط الدم. تشمل هذه الآلية تركيبًا، وهو الجهاز المجاور للكبيبى)juxtagl omerular apparatus( )JUX-tuh-glo-MER-you-lur(، الموجود فى نهاية حلقة النفرون حيث تعود إلى القشرة الكلوية. هنا، تلامس ا لحلقة الشريانين المقدم والبارز عند القطب الوعائى للجسم الكلوى)ا لشكل 23.13(.

[12] myo = عضلة؛ genic = ناتج عن

تُسمى الخلايا الحبيبية بهذا الاسم لأنها تحتوى على حبيبات من ا لرينين، الذى تفرزه استجابة لانخفاض ضغط الدم.
يبدأ هذا آلية الرينين-أنجيوتنسين-ألدوستيرون، التى سيتم شرحها قر يبًا، والتى تعيد ضغط الدم وتدعم حجم الدم.

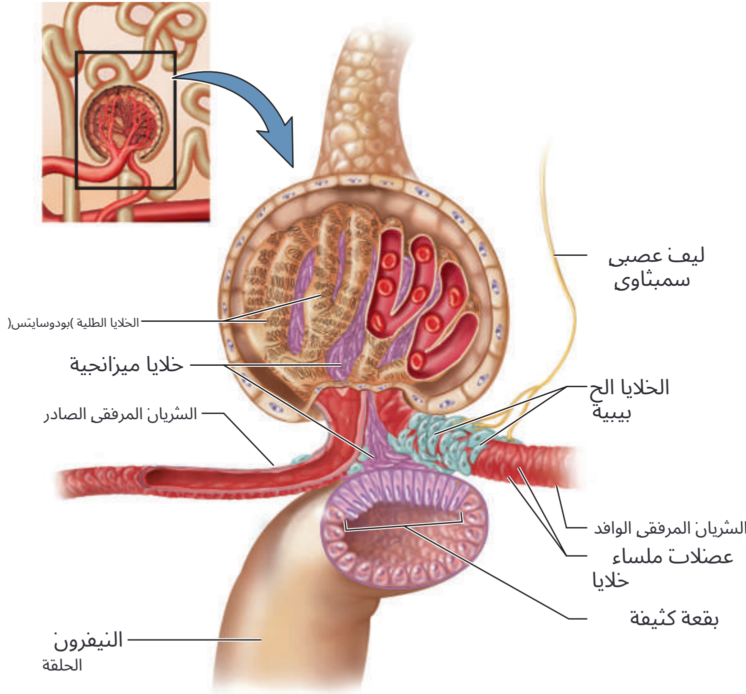
يجب ملاحظة نقطتين مهمتين حول التنظيم الذاتى الكلوى. أولاً، لا يمنع تمامًا التغيرات فى معدل الترشيح الكبيبى)GFR(.
مثل أى آلية توازن داخلى أخرى، يحافظ على توازن ديناميكى؛ يتقلب مع دل الترشيح الكبيبى ضمن حدود ضيقة. تؤثر التغيرات فى ضغط الدم ع لى معدل الترشيح الكبيبى وإنتاج البول. ثانيًا، لا يمكن للتنظيم الذاتى ا لكلوى تعويض التغيرات الشديدة فى ضغط الدم. ضمن نطاق ضغط م توسط شريانى)MAP(من 90 إلى 180 ملم زئبق، يظل معدل الترشيح ا لكبيبى مستقرًا إلى حد كبير. ومع ذلك، تحت 70 ملم زئبق، يتوقف التر شيح الكبيبى وإنتاج البول. يمكن أن يحدث هذا فى الصدمة نقص حجم الدم.

التحكم الودى

تغذى الألياف العصبية الودية الأوعية الدموية الكلوية بكثافة.
فى التمارين الشاقة أو الحالات الحادة مثل الصدمة الدورية، يؤدى التح فيز الودى وإبينفرين الغدة الكظرية إلى تضييق الشرايين المرفقية الموح بة. هذا يقلل من معدل الترشيح الكبيبى وإنتاج البول مع إعادة توجيه الد م من الكليتين إلى القلب والدماغ والعضلات الهيكلية، حيث يكون الحا جة إليه أكثر إلحاحًا. فى مثل هذه الحالات، قد يكون معدل الترشيح الك بيبى منخفضًا إلى بضع مليلترات فى الدقيقة.

آلية الرينين-أنجيوتنسين-ألدوستيرون

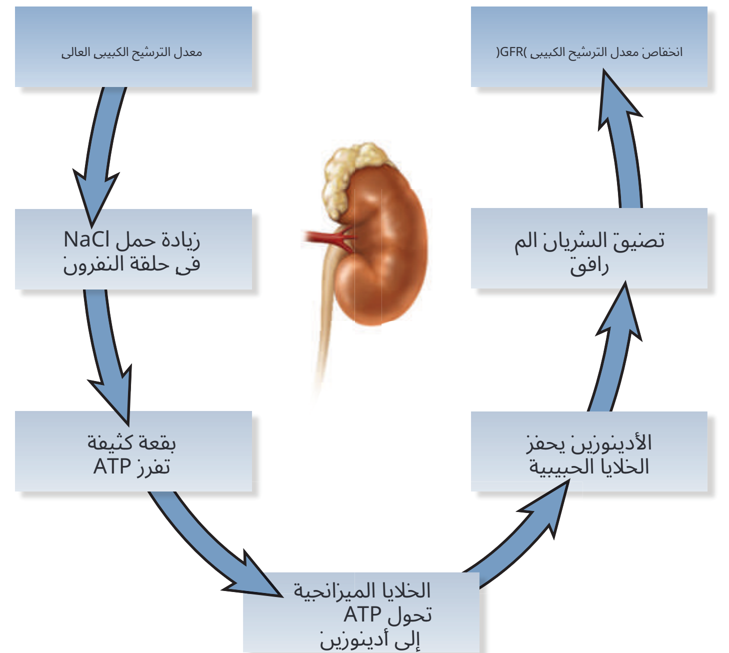
أى انخفاض كبير فى ضغط الدم بسبب النزيف أو الجفاف أو سبب آخ ر يتم اكتشافه بواسطة مستقبلات الضغط فى الشريان الأورطى



الشكل 23.13 الجهاز الكبيبى المجاور للكبيبة.

يبدأ رد الفعل الأنبوبى الكبيبى مع بقعة الكثافة،13 وهى رقعة م ن الخلايا الحسية الرفيعة والمتقاربة على جانب واحد من الحلقة. عندم ا يكون معدل الترشيح الكبيبى)GFR(مرتفعًا جدًا، يرتفع أيضًا مستو ى كلوريد الصوديوم فى حلقة النفرون بشكل حاد. تمتص خلايا بقعة ا لكثافة Na^+، K^+، وCl^-، ويتبعها الماء بشكل أسموزى؛ فتنتفخ الخلايا و -تفرز ATP من أسطحها القاعدية. يتم أيض ATP إلى الأدينوسين بوا سطة الخلايا الميزانجية القريبة، التى تملأ المساحات بين الشرايين ال صغيرة وداخل الكبيبة.
يعمل الأدينوسين كرسول باراكرين يحفز الخلايا الحبيبية)الكلية ا لمجاورة للكبيبة(القريبة. هذه خلايا عضلية ملساء معدلة ملفوفة حول الشريان المرفقى الموجب، وبدرجة أقل حول الشريان المرفقى السال ب. تستجيب لمستوى الأدينوسين المرتفع عن طريق تضييق الشريا ن المرفقى الموجب. هذا يقلل من تدفق الدم إلى الكبيبة، وبالتالى يق لل معدل الترشيح الكبيبى)GFR(ويكمل حلقة التغذية الراجعة السل بية)الشكل 23.14(. قد تنقبض أيضًا خلايا الميزانجيم فى الكبيبة، مم ا- يضيق الشعيرات الدموية الكبيبية ويقلل الترشيح.

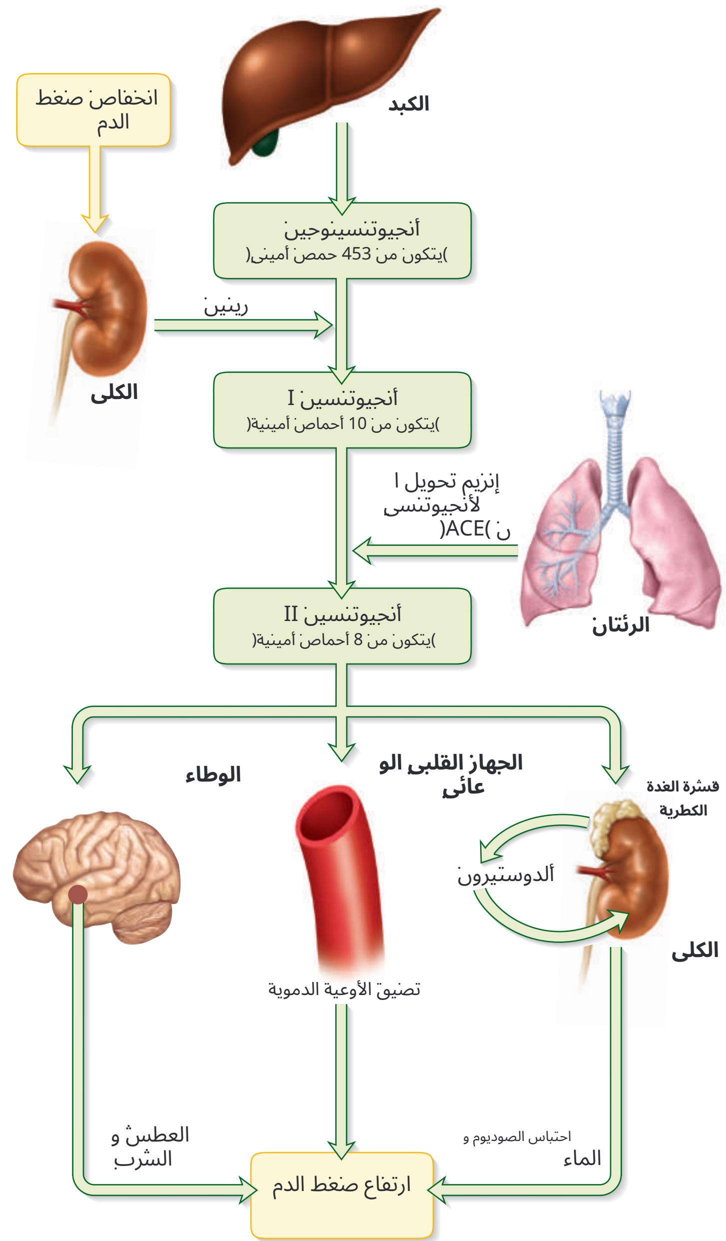
تمامًا بعد الجهاز الكلوى المجاور للكبيبة، يحتوى النبيب الملتوى البعيد على قدرة محدودة لإعادة امتصاص NaCl.
قد تساعد عملية التغذية الراجعة الأنبوبية الكبيبية فى منع تحميل زائد - للنبيب الملتوى البعيد بـ NaCl، وبالتالى منع فقدان مفرط لـ NaCl والماء فى البول.



الشكل 23.14 التغذية الراجعة الأنبوبى الكبيبى.

[3] *الماكولا* = بقعة، رقعة؛ *الدينسا* = كثيف

وشرايين السبات. تنقل إشارة إلى جذع الدماغ، مما يؤدى إلى ردود فعل تعويضية مختلفة للجهاز العصبى الودى)انظر الشكل 20.16(. أحد هذه الاستجابات هو أن الألياف الودية تحفز الخلايا الحبيبية على إ فراز الإنزيم الرينين)REE-nin(. يعمل الرينين على *الأنجيوتنس ينوجين*، وهو بروتين فى بلازما الدم، لتقسيمه إلى ببتيد مكون من 10 أحماض أمينية يسمى الأنجيوتنسين I. فى الرئتين والكليتين، إنزيم تحويل الأنجيوتنسين)ACE(يزيل حمضين أمينيين إضافيين، محولاً إ ياه إلى الأنجيوتنسين II، وهو هرمون يعمل بعدة طرق لاستعادة حجم السوائل وضغط الدم)الشكل 23.15(:



الشكل 23.15 آلية الرينين-أنجيوتنسين-ألدوستيرون. يتم تنشيط سلسلة الأحداث هذه بانخفاض ضغط الدم وتعمل على رفعه مرة أخرى.

- إنه مسبب قوى لتضيق الأوعية الدموية. يؤدى التضيق الواسع للأوعية إلى رفع متوسط ضغط الدم الشريانى فى جميع أنحاء الجسم.
- فى الكليتين، يضيق الشرايين الخارجة وإلى حد أقل الشرايين ا لداخلة. من خلال تضييق مخرج الكبيبة أكثر من المدخل، يرفع ضغط الدم فى الكبيبة ومعدل الترشيح الكبيبى)GFR(، أو عل ى الأقل يمنع انخفاضًا حادًا فى GFR، مما يضمن استمرار ترش يح الفضلات من الدم حتى عندما ينخفض ضغط الدم.
- تضيق الشرايين الخارجة يخفض ضغط الدم)BP(فى الشعيرات ا لدموية المحيطة بالنبيبات الواقعة بعدها. نظرًا لأن ضغط الد م فى الشعيرات الدموية عادة ما يعارض إعادة امتصاص السوا ئل، فإن هذا الانخفاض فى ضغط الدم يعزز بشدة إعادة امتصا ص NaCl والماء من النبيبات. يتم إعادة المزيد من الماء إلى مج رى الدم بدلاً من فقدانه فى البول.
- يحفز الأنجيوتنسين II قشرة الغدة الكظرية على إفراز الألدوستيرو ن، الذى يعزز إعادة امتصاص الصوديوم والماء فى النبيب المل توى البعيد وقناة التجميع. كما يحفز الأنجيوتنسين II مباشرة إعا دة امتصاص الصوديوم والماء فى النبيب الملتوى القريب.
- يحفز الغدة النخامية الخلفية على إفراز هرمون مضاد لإدرار البو ل، الذى يعزز إعادة امتصاص الماء بواسطة قناة التجميع.
- يحفز الشعور بالعطش ويشجع على تناول الماء.

يتم شرح بعض هذه التأثيرات بشكل أكثر تفصيلاً لاحقًا فى هذا ا لفصل والفصل 24. مجتمعة، ترفع هذه التأثيرات ضغط الدم عن طر يق تقليل فقدان الماء، وتشجيع تناول الماء، وتضييق الأوعية الدموية

.

عن طريق التنظيم الذاتى الكلوى، والتحكم الودى، والتحكم الهرمونى.

▶▶▶ طبق ما تعرفه

هل تتوقع أن تزيد مثبطات ACE من كمية البول أو تقللها؟ ولماذا ؟)يتم شرح مثبطات ACE تحت عنوان "التحكم الهرمونى" فى ا لقسم 20.2ح.(

لتلخيص الأحداث حتى الآن: يحدث الترشيح الكبيبى لأن ضغط ا لدم العالى فى الشعيرات الدموية الكبيبية يتغلب على الضغط الاسمو زى الغروانى للدم.
تسمح غشاء الترشيح بدخول معظم ذائبات البلازما إلى الفراغ الكبسو لى مع احتجاز خلايا الدم والبروتين فى مجرى الدم. يتم الحفاظ على ال ترشيح الكبيبى بمعدل ثابت إلى حد ما يتراوح بين 105 إلى 125 مل/ دقيقة)للإناث والذكور على التوالى(على الرغم من التغيرات فى ضغط الدم النظامى. يتم تحقيق الاستقرار

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

7. اذكر العمليات الأربع الرئيسية فى إنتاج البول.
8. تتبع حركة جزىء اليوريا من الدم إلى الفراغ الكبسولى، وسمّ الحوا جز التى يمر بها.

تمر المواد من خلال الفجوات بين الخلايا. الروابط "الضيقة" بين الخلايا الطلائية مسربة إلى حد كبير وتسمح بمرور كميات كبيرة من الماء. أثناء مرور الماء عبر الطلائية، يحمل معه مجموعة متنوعة من المواد المذابة — وهى عملية تسمى سحب المذيب. سواء عبر المسار الخلوى (transcellular) أو بين الخلايا (paracellular)، يدخل الماء والمواد المذابة إلى السائل النسيجى عند قاعدة الطلائية، ومن هناك يتم امتصاصها بواسطة الشعيرات الدموية المحيطة بالنبيب. فى المناقشة التالية و الشكل 23.16 ، نفحص آليات إعادة الامتصاص.

كلوريد الصوديوم إعادة امتصاص الصوديوم هى المفتاح لمعظم العمليات الأخرى، لأنها تخلق تدرجًا أسموزيًا وكهربائيًا يدفع إعادة امتصاص الماء والمواد المذابة الأخرى.
إنه أكثر الكاتيونات وفرة فى الترشيح الكبيبى، بتركيز 140 ملى مكافئ/لتر فى السائل الداخل إلى النبيب الملفوف القريب و12 ملى مكافئ/لتر فقط فى سيتوبلازم الخلايا الطلائية. هذا تدرج تركيز حاد جدًا يفضل النقل إلى داخل الخلايا الطلائية.

نوعان من بروتينات النقل فى السطح القمى للخلية مسؤولان عن امتصاص الصوديوم: (1) عدة مرافقة ترتبط فى نفس الوقت بـ Na^+ ومواد مذابة أخرى مثل الجلوكوز، الأحماض الأمينية، أو اللاكتات؛ و(2) مضاد نقل $Na^+–H^+$ الذى يجذب Na^+ إلى داخل الخلية بينما يضخ H^+ خارج الخلية إلى السائل الأنبوبى.
هذا المضاد للنقل ليس فقط وسيلة لإعادة امتصاص الصوديوم، بل أيضًا لطرد الحمض من سوائل الجسم. ينشط الأنجيوتنسين II مضاد النقل $Na^+–H^+$ وبالتالى يمارس تأثيرًا قويًا على إعادة امتصاص الصوديوم.
يتم منع تراكم الصوديوم فى الخلايا الطهارية بواسطة مضخات $Na^+–K^+$ الموجودة فى المجال القاعدى لغشاء البلازما، والتى تضخ Na^+ إلى الخارج إلى السائل خارج الخلوى. من هناك، يتم التقاطه بواسطة الشعيرات الدموية المحيطة بالأنابيب وإعادته إلى مجرى الدم. هذه المضخات $Na^+–K^+$، مثل تلك الموجودة فى أى مكان، هى مضخات نقل نشطة تستهلك ATP. على الرغم من أن الناقلات المشتركة لنقل الصوديوم فى الغشاء القمى لا تستهلك ATP، إلا أنها تعتبر مثالاً على النقل النشط الثانوى بسبب اعتمادها على مضخات $Na^+–K^+$ فى قاعدة الخلية.

تتبع أيونات الكلوريد، كونها سالبة الشحنة، الصوديوم لأنها تجذب كهربائياً إليه. هناك أيضاً مضادات نقل مختلفة فى غشاء الخلية القمى تمتص Cl^- مقابل أيونات سالبة أخرى تطردها إلى السائل الأنبوبى. يتم دفع أيونات الكلوريد والبوتاسيوم عبر السطح القاعدى للخلية بواسطة ناقل مشترك $K^+–Cl^-$. كما يمر كل من Na^+ وCl^- عبر طهارة الأنابيب عن طريق المسار بين الخلوى (paracellular route) بين الخلايا.

الإلكتروليتات الأخرى تمر أيونات البوتاسيوم والمغنيسيوم والفوسفات عبر المسار بين الخلوى مع الماء. كما يتم نقل الفوسفات إلى داخل الخلايا الطهارية مع Na^+. يُعاد امتصاص حوالى 52% من الكالسيوم المصفى عبر المسار بين الخلوى و14% عبر المسار العبر خلوى (transcellular) فى الأنبوب القريب الملفوف (PCT). لا يعتمد امتصاص الكالسيوم هنا على أى هرمونات، لكن يُعاد امتصاص 33% أخرى من الكالسيوم لاحقاً فى النفرون تحت تأثير هرمون الغدة الجار درقية (parathyroid hormone)، الذى سيتم مناقشته قريباً. أما النسبة المتبقية 1%، فعادةً ما تُطرح فى البول.

9. احسب ضغط الترشيح الصافى فى مريض يكون فيه ضغط الألبومين فى الدم (COP) فقط 10 مم زئبق بسبب نقص البروتين فى الدم (نقص البروتين الدموى). افترض أن المتغيرات الأخرى ذات الصلة طبيعية.

10. افترض أن الشخص يعانى من جفاف معتدل وانخفاض فى ضغط الدم. صف الآليات التنظيمية التى تساعد الكلى على الحفاظ على معدل الترشيح الكبيبى (GFR) الطبيعى.

23.4 تكوين البول II: الامتصاص والإفراز الأنبوبى

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادراً على

أ. وصف كيفية إعادة الأنابيب الكلوية امتصاص المواد المفيدة من الترشيح الكبيبى وإعادتها إلى الدم؛
ب. وصف كيفية إفراز الأنابيب للمواد من الدم إلى السائل الأنبوبى؛ و
ج. وصف كيفية تنظيم النفرون لإفراز الماء.

تحويل الترشيح الكبيبى إلى بول يتضمن إزالة وإضافة المواد الكيميائية من خلال إعادة الامتصاص والإفراز الأنبوبى، والتى سيتم شرحها فى هذا القسم. هنا نتتبع مسار السائل الأنبوبى عبر النفرون، من الأنبوب الملتوى القريب مرورًا بالأنبوب الملتوى البعيد، ونرى كيف يتم تعديل الترشيح فى كل نقطة على طول الطريق. راجع الشكل 23.9 لوضع هذه العمليات فى منظورها الصحيح.

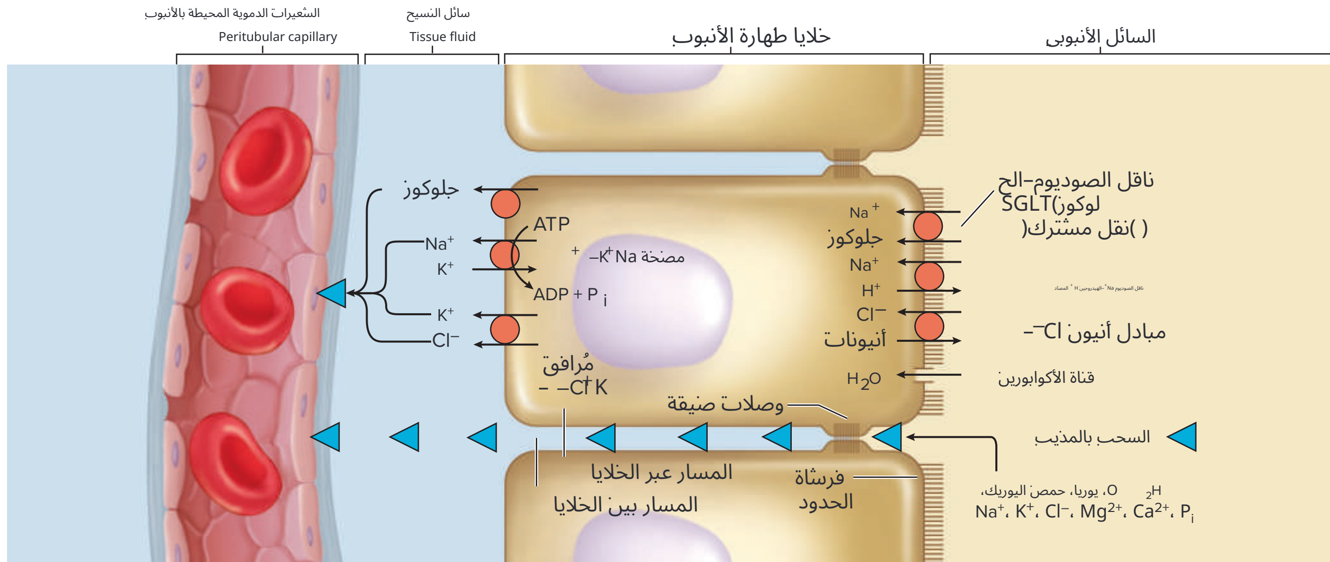
23.4أ الأنبوب الملتوى القريب

يعيد الأنبوب الملتوى القريب (PCT) امتصاص حوالى 65% من الترشيح الكبيبى، بينما يزيل أيضًا بعض المواد من الدم ويفرزها إلى الأنبوب للتخلص منها فى البول. تتجلى أهمية الأنبوب الملتوى القريب فى طوله النسبى الكبير ووجود الزغابات الدقيقة البارزة التى تزيد من مساحة سطح الامتصاص. كما تحتوى خلاياه على عدد كبير من الميتوكوندريا الكبيرة التى توفر ATP للنقل النشط. من بين جميع السعرات الحرارية التى تستهلكها وATP التى تستخدمها يوميًا، يذهب حوالى 6% فقط لتشغيل هذه العمليات فى الأنابيب الملتوية القريبة لكليتيك.

إعادة الامتصاص الأنبوبى

إعادة الامتصاص الأنبوبى هى عملية استعادة الماء والمواد المذابة من السائل الأنبوبى وإعادتها إلى الدم. يعيد الأنبوب الملتوى القريب امتصاص مجموعة أكبر من المواد الكيميائية مقارنة بأى جزء آخر من النفرون.
هناك مساران لإعادة الامتصاص: (1) المسار العبر خلوى[14] ، حيث تمر المواد عبر السيتوبلازم وتخرج من قاعدة الخلايا الطلائية؛ و(2) المسار بين خلوى[15]

[14] *trans* = عبر
[15] *para* = بجانب



الشكل 23.16 إعادة الامتصاص في النبيب الملفوف القريب. يتم نقل الماء والذائبات في السائل الأنبوبي)يمين(عبر طهارة النبيب بوسائل مختلفة تشمل ا لنقل المشترك)symports(، النقل المضاد)antiports(، قنوات الأكوابورين، والمسار بين الخلوي بين الخلايا. تدخل هذه المواد إلى السائل النسيجي عند قاعدة الطهارة ويتم التقاطها بواسطة الشعيرات الدموية المحيطة بالنبيب)يسار(. يتم إعادة امتصاص العديد من الذائبات الأخرى غير المعروضة هنا بو سائل مماثلة.

كيف سيؤثر زيادة إعادة امتصاص Na^+ على درجة حموضة البول؟ أين الدليل على ذلك في الشكل؟

السطح القمي والخروج منها)للعودة إلى الدم(عبر السطح القاعدي الح انبي.

نظرًا لأن الأنبوب القريب)PCT(يعيد امتصاص كميات متناسبة من المواد المذابة والماء، فإن أسمولارية السائل الأنبوبي تبقى دون تغيير هنا. في أماكن أخرى من النفرون، يختلف امتصاص الماء باس تمرار بسبب تأثير الهرمونات التي تستجيب لحالة ترطيب الجسم. وم ع ذلك، في الأنبوب القريب، يُعاد امتصاص الماء بمعدل ثابت يسمى إعادة الامتصاص الإلزامي للماء.

طبق ما تعرفه

بالنظر إلى وظيفة وفسيولوجيا الأنبوب القريب الملفوف)PCT(، لماذا تعتقد أنه يحتوي على طهارة مكعبة بسيطة بدلاً من طهارة حرشفية بسيطة أو طهارة حرشفية متعددة الطبقات؟

الامتصاص بواسطة الشعيرات الدموية المحيطة بالنبيب

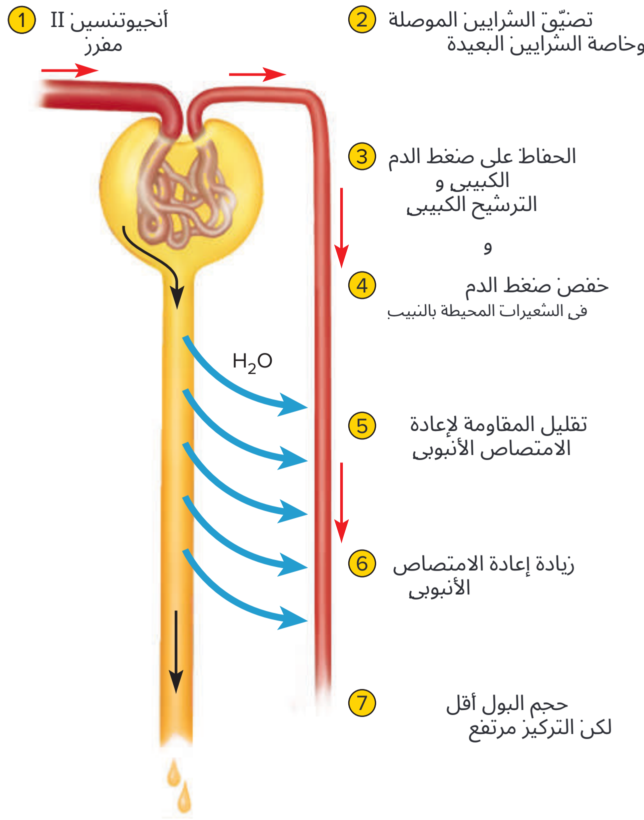
بعد أن تغادر الماء والذائبات السطح القاعدي لطهارة النبيب، يتم إعاد ة امتصاصها بواسطة الشعيرات الدموية المحيطة بالنبيب.
آليات امتصاص الشعيرات الدموية هي الأسموز والسحب بالمذيب.
هناك ثلاثة عوامل تعزز الأسموز إلى هذه الشعيرات الدموية:
)1(تراكم السائل المعاد امتصاصه على الجانب القاعدي لخلايا الطهار ة يخلق ضغط سائل نسيجي مرتفع يدفع الماء فعليًا إلى الشعيرات ال دموية.)2(ضيق الشريان الصادر يقلل من ضغط الدم الهيدروستاتيك ي)BHP(من 60 مم زئبق في الكبيبة إلى 8 مم زئبق فقط في الشعير ات الدموية المحيطة بالنبيب، لذلك هناك مقاومة أقل لإعادة الامت صاص هنا مقارنة بمعظم الشعيرات الدموية الجهازية.)3(أثناء مرور ا لدم عبر الكبيبة، يتم ترشيح الكثير من الماء لكن تقريبًا كل البروتين ي بقى في الدم. لذلك، يحتوي الدم على تركيز عالٍ من الكولويد.

الجلوكوز يتم نقل الجلوكوز مع Na^+ بواسطة ناقلات مشتركة تسمى ناقلات الصوديوم-الجلوكوز)SGLTs(. ثم يُزال من السطح القاعدي الجانبي للخلية عن طريق الانتشار الميسر. عادةً، يُعاد امتصاص كل الجلوكوز في السائل الأنبوبي ولا يوجد أي منه في البول.

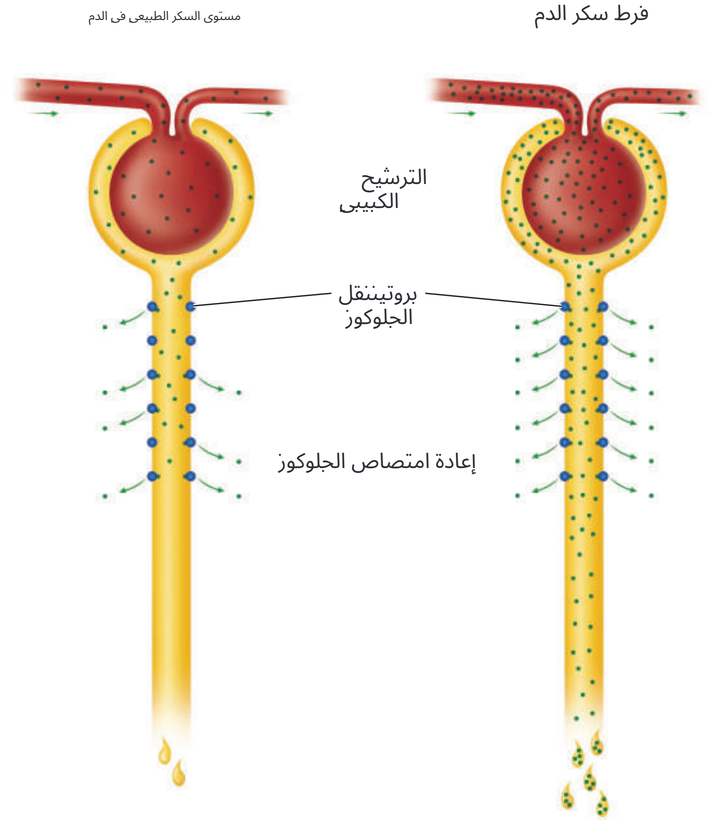
النفايات النيتروجينية تمر اليوريا عبر الطهارة مع الماء. يعيد النفرون ككل امتصاص 40% إلى 60% من اليوريا في السائل الأنبوبي، ولكن بما أنه يعيد امتصاص 99% من الماء، فإن البول يحتوي على تركيز يو ريا أعلى بكثير من الدم أو الترشيح الكبيبي. عندما يدخل الدم الكلية، يكون تركيز اليوريا حوالي 20 ملغم/ديسيلتر؛ وعندما يخرج من الكلية، ينخفض عادةً إلى 10.4 ملغم/ديسيلتر. وهكذا، تزيل الكلية حوالي ن صف اليوريا، مما يحافظ على تركيزها عند مستوى آمن دون أن تزيلها بالكامل من الدم.

يعيد الأنبوب القريب)PCT(امتصاص تقريبًا كل حمض اليوريك الذي يد خل إليه، لكن أجزاء لاحقة من النفرون تفرزه مرة أخرى إلى السائل الأنبوبي. لا يُ عاد امتصاص الكرياتينين على الإطلاق، بل يبقى في الأنبوب ويتم طرحه بالكام ل في البول.

الماء تقلل الكليتان حوالي 180 لترًا من الترشيح الكبيبي إلى 1 أو 2 ل تر من البول يوميًا، لذا فإن إعادة امتصاص الماء وظيفة مهمة. يُعاد ام تصاص حوالي ثلثي الماء بواسطة الأنبوب القريب)PCT(. يؤدي إعادة امتصاص كل الأملاح والمواد العضوية كما ذكر إلى جعل خلايا الأنبو ب والسائل النسيجي مفرط التوتر مقارنة بالسائل الأنبوبي. يتبع الماء المواد المذابة عن طريق التناضح عبر المسارين بين الخلوي والعبر خلو ي.
يحدث الامتصاص العبر خلوي عبر قنوات مائية تسمى الأكوابورينات في المناطق القمية والقاعدية الجانبية لغشاء البلازما، مما يمكّن الماء من دخول خلايا الأنبوب عند



الشكل 23.17 تأثير الأنجيوتنسين II على إعادة الامتصاص الأنبوبى.



الشكل 23.18 الحد الأقصى للنقل. (أ) عند تركيز جلوكوز دم طبيعى (نُطم سكر الدم)، يتم إعادة امتصاص كل الجلوكوز المصفى عن طريق الكلىة بواسطة بروتينات نقل الجلوكوز فى الأنبوب الملتوى القريب، ويكون البول خالياً من الجلوكوز.
(ب) عند تركيز جلوكوز دم مرتفع (فرط سكر الدم)، يتم ترشيح كمية جلوكوز أكبر مما تستطيع بروتينات النقل، التى أصبحت مشبعة الآن، امتصاصه. يتجاوز الترشيح الكبيبى للجلوكوز الآن الحد الأقصى للنقل (T_m) فى الأنبوب الكلوى. يهرب الجلوكوز الزائد من إعادة الامتصاص ويطهر فى البول (جلوكوز البول).

ضغط الاسموزى (COP) بحلول الوقت الذى يغادر فيه الكبيبة. مع وجود ضغط اسموزى مرتفع وضغط دموى منخفض فى الشعيرات الدموية وارتفاع peritubular ضغط هيدروستاتيكى فى سائل النسيج، فإن توازن القوى فى الشعيرات الدموية يميل بقوة نحو إعادة الامتصاص. وتزداد هذه الميول بفضل الأنجيوتنسين II. من خلال تضييق الشرايين الواردة والصادرة، يقلل هذا الهرمون من ضغط الدم فى الشعيرات المحيطة بالأنابيب وبالتالى يقلل من مقاومتها لإعادة امتصاص السائل (الشكل 23.17).

الحد الأقصى للنقل

هناك حد لكمية المذاب التى يمكن للأنبوب الكلوى إعادة امتصاصها بسبب وجود عدد محدود من بروتينات النقل فى أغشية البلازما. إذا كانت جميع الناقلات مشغولة أثناء مرور جزيئات المذاب، فسوف يفلت بعض المذاب من إعادة الامتصاص ويطهر فى البول. الحد الأقصى لمعدل إعادة الامتصاص هو الحد الأقصى للنقل (T_m)، والذى يتم الوصول إليه عندما تكون الناقلات مشبعة (انظر الشكل 3.16 والنقاش هناك).

لكل مذاب يُعاد امتصاصه بواسطة الأنبوب الكلوى حد أقصى للنقل خاص به (T_m)

على سبيل المثال، الجلوكوز له حد أقصى للنقل (T_m) يبلغ 320 ملغ/دقيقة. يحدث عادةً الأنبوب الكلوى بمعدل 125 ملغ/دقيقة، وهو ضمن الحد الأقصى للنقل؛ لذلك يتم إعادة امتصاصه بالكامل. ولكن عند مستويات جلوكوز الدم فوق 220 ملغ/ديسيلتر، يتم ترشيح الجلوكوز أسرع مما يمكن للأنبوب الكلوى إعادة امتصاصه، ويتجاوز الفائض فى البول — وهى حالة تسمى الجلوكوزوريا[16]

(GLY-co-SOOR-ee-uh) (الشكل 23.18). فى داء السكرى غير المعالج، قد تتجاوز تركيزات الجلوكوز فى البلازما 400 ملغ/ديسيلتر، لذا فإن الجلوكوزوريا هى واحدة من العلامات الكلاسيكية لهذا المرض.

الإفراز الأنبوبى

الإفراز الأنبوبى هو عملية يقوم فيها النبيب الكلوى باستخلاص المواد الكيميائية من دم الشعيرات الدموية وإفرازها فى السائل الأنبوبى (انظر الشكل 23.9). فى النبيب الملتوى القريب \وحلقة النبيب الكلوى، يخدم هذا العملية ثلاثة أغراض: (1) يساهم فى توازن الحمض والقاعدة عن طريق إفراز نسب متفاوتة من الهيدروجين إلى أيونات البيكربونات، كما هو مفصل فى الفصل 24. (2) يستخلص الفضلات من الدم، بما فى ذلك اليوريا، حمض اليوريك، أحماض الصفراء، الأمونيا، وقليل من الكرياتينين. يعوض إفراز حمض اليوريك عن إعادة امتصاصه فى وقت سابق فى النبيب الملتوى القريب ويشكل كل حمض اليوريك فى البول. (3) يزيل الأدوية والملوثات من الدم، مثل

[16] glycos = سكر؛ uria = حالة البول

الماء، ويقل حجم البول، ويكون تركيز K^+ في البول مرتفعًا. يساعد اح
تباس الماء في الحفاظ على حجم الدم وضغطه. يتناول القسم 24.2أ ا
لمزيد من عمل الألدوستيرون.

الببتيدات المدرّة للصوديوم

تفرز القلب الببتيدات المدرّة للصوديوم استجابة لارتفاع ضغط الدم.
تمارس هذه الهرمونات أربعة تأثيرات تؤدي إلى إفراز المزيد من الملح
والماء في البول:

1. يقومون بتوسيع الشريان الوارد وتضييق الشريان الصادر، مما يز
يد من معدل الترشيح الكبيبي (GFR).
2. يعارضون آلية الرينين-أنجيوتنسين-ألدوستيرون عن طريق تثبي
ط إفراز الرينين والألدوستيرون.
3. يمنعون إفراز هرمون مضاد الإدرار (ADH) وتأثيره على الكلى.
4. يمنعون إعادة امتصاص NaCl بواسطة القناة الجامعة.

تؤدي هذه التأثيرات مجتمعة إلى تقليل حجم الدم وضغطه.

هرمون مضاد الإدرار (ADH)

الجفاف، فقدان حجم الدم، وارتفاع أسمولارية الدم تحفز مستقبلات ا
لضغط الشرياني ومستقبلات الأسمول في الوطاء.
استجابةً لذلك، يفرز الغدة النخامية الخلفية هرمون مضاد لإدرار البول
(ADH). يجعل ADH القناة الجامعة أكثر نفاذية للماء، ب
حيث يعود الماء في السائل الأنبوبي إلى سائل النسيج والدم بدلاً من
فقدانه في البول. وتُوصف آليات ذلك في القسم التالي (23.5).

هرمون جارات الدرقية (PTH)

نقص الكالسيوم (نقص كالسيوم الدم) يحفز الغدد الجار درقية على إفراز
هرمون الغدة الجار درقية (PTH)، الذي يعمل بعدة طرق لاستعادة توازن
الكالسيوم في الجسم. تم وصف تأثيره على أيض العظام في الفصل ال
سابع. في الكلى، يؤثر على الأنبوب القريب الملفوف (PCT) لمنع إعادة ا
متصاص الفوسفات، ويؤثر على الأنبوب البعيد الملفوف (DCT) والجزء ا
لسميك من حلقة النبيب الكلوي لزيادة إعادة امتصاص الكالسيوم. في ا
لمتوسط، يتم إعادة امتصاص حوالي 25% من الكالسيوم المصفى بوا
سطة الجزء السميك و8% بواسطة الأنبوب البعيد الملفوف.
لذلك يزيد هرمون الغدة الجار درقية (PTH) من محتوى الفوسفات في ا
لبول ويقلل من محتوى الكالسيوم فيه. هذا يساعد على تقليل فقدان ال
كالسيوم بشكل أكبر. وبما أن الفوسفات لا يُحتفظ به مع الكالسيوم، تبق
ى أيونات الكالسيوم في الدورة الدموية بدلاً من الترسيب في نسيج الع
ظام على شكل فوسفات الكالسيوم. الكالسيتريول والكالسيتونين لهما
تأثيرات مشابهة ولكن أضعف على الأنبوب الكلوي البعيد (DCT).

يحفز هرمون الغدة الجار درقية (PTH) أيضًا تخليق الكالسيتريول بواسطة الخلايا الظهارية في النبيب القريب (PCT).

باختصار، يعيد النبيب القريب الملتوي (PCT) امتصاص حوالي 65%
من الراشح الكبيبي ويعيده إلى دم الشعيرات الدموية المحيطة بالنبيب.
يحدث الكثير من هذا الامتصاص من خلال آليات التناضح والنقل الم
شترك المرتبطة بالنقل النشط لأيونات الصوديوم. يعيد حلقة النفرون
امتصاص 25٪ أخرى من الراشح، على الرغم من أن دوره الأساسي هو
مساعدة وظيفة القناة الجامعة. يعيد الأنبوب القاصي الملتوي (DCT)
امتصاص المزيد من كلوريد الصوديوم والماء، لكن معدلات الامتصا
ص فيه تخضع للتحكم بواسطة الهرمونات، وخاصة الألدوستيرون وال
ببتيدات المدرّة للصوديوم. كما تقوم هذه الأنابيب باستخلاص

رفين، البنسلين، والأسبرين. أحد الأسباب التي تجعل العديد من الأدوية يجب
تناولها ثلاث أو أربع مرات يومياً هو مواكبة هذا الإزالة والحفاظ على تركيز دوا
ئي فعال في الدم.

23.4ب حلقة النفرون

الوظيفة الأساسية لحلقة النفرون هي توليد تدرج أسموزي يمكّن القناة
الجامعة من تركيز البول والحفاظ على الماء، كما سيناقش لاحقًا. ول
كن بالإضافة إلى ذلك، تعيد الحلقة امتصاص حوالي 25% من Na^+ و
K^+ و Cl^- و 15% من الماء في الترشيح الكبيبي. تحتوي الخلايا في الج
زء السميك من الذراع الصاعدة للحلقة على بروتينات في الأغشية القم
ية ترتبط في نفس الوقت بـ 1 Na^+ و 1 K^+ و 2 Cl^- من السائل الأنبو
بي وتنقلها معًا إلى السيتوبلازم. تخرج هذه الأيونات من الأسطح الخلو
ية القاعدية الجانبية عن طريق النقل النشط لـ Na^+ والانتشار لـ K^+ و
Cl^-. يدخل البوتاسيوم الخلية مرة أخرى بواسطة مضخة Na^+–K^+ ثم
يعود إلى السائل الأنبوبي، لكن NaCl يبقى في سائل النسيج في النخا
ع الكلوي. الجزء السميك غير منفذ للماء؛ لذلك لا يمكن للماء أن يتبع
الإلكتروليتات المعاد امتصاصها، ويصبح السائل الأنبوبي مخففًا جدًا (
200 mOsm/L) بحلول الوقت الذي يمر فيه من حلقة الن
فرون إلى النبيب الملتوي البعيد.

23.4ج النبيب الملتوي البعيد والقناة الجامعة

السائل الذي يصل إلى النبيب الملتوي البعيد لا يزال يحتوي على حوا
لي 20% من الماء و7% من الأملاح من الترشيح الكبيبي. إذا تم تمرير
كل هذا كبول، فسيصل إلى 36 لترًا في اليوم، لذا لا يزال هناك الكثير
من إعادة امتصاص السائل. يعيد النبيب الملتوي البعيد والقناة الجام
عة امتصاص كميات متغيرة من الماء والأملاح ويتم تنظيمهما بواسط
ة عدة هرمونات—وخاصة الألدوستيرون، الببتيدات المدرّة للصوديوم،
هرمون مضاد الإدرار، وهرمون الغدة الجار درقية.
هناك نوعان من الخلايا في النبيب الملتوي البعيد والقناة الجامعة.
الخلايا الرئيسية هي الأكثر وفرة؛ لديها مستقبلات للهرمونات المذكورة
وتشارك بشكل رئيسي في توازن الملح والماء. الخلايا المتداخلة أقل
عددًا. تعيد امتصاص K^+ وتفرز H^+ في النبيب وتشارك بشكل رئيسي
في توازن الحمض-القاعدة، كما نوقش في الفصل 24. التأثيرات الهر
مونية الرئيسية على النبيب الملتوي البعيد والقناة الجامعة هي كما ي
لي.

الدوستيرون

الألدوستيرون، "هرمون احتباس الملح"، هو ستيرويد يفرزه قشرة الغد
ة الكظرية عندما ينخفض تركيز Na^+ في الدم أو يرتفع تركيز K^+. كما يؤ
دي انخفاض ضغط الدم إلى تحفيز إفراز الألدوستيرون، ولكن بشكل غ
ير مباشر—حيث يحفز الكلية على إفراز الرينين؛ مما يؤدي إلى إنتاج ا
لأنجيوتنسين II؛ ويحفز الأنجيوتنسين II إفراز الألدوستيرون (انظر ال
شكل 23.15).

يعمل الألدوستيرون على الجزء السميك من الذراع الصاعدة لحل
قة النفرون، وعلى النبيب الملتوي البعيد، وعلى الجزء القشري من ال
قناة الجامعة. يحفز هذه الأجزاء من النفرون على إعادة امتصاص Na^+
وإفراز K^+. يتبع الماء و Cl^- Na^+، لذا فإن التأثير الصافي هو احتفاظ ال
جسم بـ NaCl و

الأدوية والنفايات وبعض المواد المذابة الأخرى من الدم وتفرزها فى السائل الأنبوبى. يقوم الجزء القاصى من النبيب الكلوى (DCT) بشكل أساسى بإكمال عملية تحديد التركيب الكيميائى للبول.
الوظيفة الرئيسية المتبقية للقناة الجامعة هى حفظ الماء.

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

11. إعادة امتصاص الماء، وكلوريد$^-$، والجلوكوز بواسطة الأنبوب القريب الملفوف (PCT) مرتبطة بإعادة امتصاص الصوديوم$^+$، ولكن بثلاث طرق مختلفة جدًا. قارن بين هذه الآليات الثلاث.
12. اشرح لماذا يظهر مادة فى البول إذا تجاوز معدل ترشيحها الكبى الحد الأقصى للامتصاص (Tm) فى الأنبوب الكلوى.
13. قارن بين تأثيرات الألدوستيرون والببتيدات المدرّة للصوديوم على الأنبوب الكلوى.

23.5 تكوين البول III: الحفاظ على الماء

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادراً على

أ. شرح كيف يقوم القناة الجامعة والهرمون المضاد لإدرار البول بضبط حجم وتركيز البول؛ و
ب. شرح كيف يحافظ الكلى على تدرج أسموزى فى النخاع الكلوى مما يمكن القناة الجامعة من القيام بوظيفتها.

لا يقتصر دور الكلى على التخلص من الفضلات الأيضية من الجسم فحسب، بل يمتد أيضًا لمنع فقدان الماء المفرط أثناء ذلك، وبالتالى دعم توازن سوائل الجسم. مع عودة الماء من الكلى إلى سوائل الأنسجة والدم، يصبح السائل المتبقى فى النبيب الكلوى، والذى يُطرح فى النهاية على شكل بول، أكثر تركيزًا تدريجيًا. فى هذا القسم، نستعرض آليات الكلى للحفاظ على الماء وتركيز البول.

23.5أ القناة الجامعة

تبدأ القناة الجامعة (CD) فى القشرة، حيث تستقبل السائل الأنبوبى من عدة نيفرونات. وعندما تمر عبر النخاع، فإنها عادة ما تعيد امتصاص الماء وتُركز البول. عندما يدخل البول إلى الطرف العلوى للقناة الجامعة، يكون متساوى التوتر مع بلازما الدم (300 مللى أوسمول/لتر)، ولكن بحلول الوقت الذى يغادر فيه الطرف السفلى، يمكن أن يكون تركيزه أعلى بأربعة أضعاف — أى أنه عالى التوتر جدًا مقارنة بالبلازما. كانت هذه القدرة على تركيز الفضلات والسيطرة على فقدان الماء حاسمة فى تطور الحيوانات البرية مثلنا (انظر التعمق 23.1).



نظرة أعمق 23.1
الطب التطورى

الكلى والحياة على اليابسة الجافة

اشتبه علماء الفسيولوجيا فى البداية أن حلقة النفرون تلعب دورًا فى حفظ الماء بسبب دراساتهم على مجموعة متنوعة من أنواع الحيوانات. الحيوانات التى يجب عليها حفظ الماء تمتلك حلقات نفرون أطول وأكثر عددًا من الحيوانات التى لا تحتاج كثيرًا إلى حفظه. الأسماك والبرمائيات تفتقر إلى حلقات النفرون وتنتج بولًا متساوى التوتر مع بلازما الدم الخاصة بها. الثدييات المائية مثل القنادس تمتلك حلقات نفرون قصيرة وبولًا مفرط التوتر قليلاً فقط.

لكن جرذ الكنغر، وهو قارض صحراوى، يقدم تباينًا تعليميًا. فهو يعيش على البذور والأطعمة الجافة الأخرى ويمكنه أن يعيش طوال حياته دون شرب الماء. كليتا هذا الحيوان فعالتان للغاية بحيث يمكنه العيش كليًا على الماء الناتج عن التنفس الهوائى. لديهم حلقات نيفرون طويلة جدًا وينتجون بولًا مركزًا بمقدار 10 إلى 14 مرة مقارنة ببلازما الدم (مقارنة بأقصى 4 مرات فى البشر).

لذا اقترحت الدراسات المقارنة فرضية لوظيفة حلقة النيفرون وأدت إلى سنوات عديدة من البحث الصعب الذى أسفر عن اكتشاف آلية المضاعف المتعاكس للحفاظ على الماء. هذا يوضح كيف توفر التشريح المقارن اقتراحات ورؤى حول الوظيفة ولماذا لا يدرس علماء الفسيولوجيا وظيفة الإنسان بمعزل عن الأنواع الأخرى.

هناك حقيقتان تمكّنان القناة الجامعة (CD) من إنتاج بول مفرط التوتر: (1) تركيز الأسمولية فى السائل خارج الخلية فى النخاع السفلى أعلى بأربع مرات منه فى القشرة، و(2) الجزء النخاعى من القناة الجامعة أكثر نفاذية للماء منه للذائبات. لذلك، أثناء مرور البول عبر القناة الجامعة خلال النخاع المتزايد المفرط التوتر، يخرج الماء من الأنبوب عن طريق التناضح، بينما يبقى معظم NaCl والنفايات الأخرى، ويصبح البول أكثر تركيزًا تدريجيًا (الشكل 23.19).

23.5ب التحكم فى فقدان الماء

مدى تركيز البول يعتمد على حالة ترطيب الجسم. على سبيل المثال، إذا شربت كمية كبيرة من الماء، ستنتج قريبًا كمية كبيرة من البول منخفض التوتر — وهو استجابة تسمى *إدرار البول المائى*[17] (DY-you-REE-sis). فى مثل هذه الظروف، يعيد الجزء القشرى من القناة الجامعة امتصاص NaCl لكنه غير نفاذ للماء. يتم إزالة الملح من البول، ويبقى الماء فيه، وقد تصل أسمولية البول إلى 50 مللى أسمول/لتر.

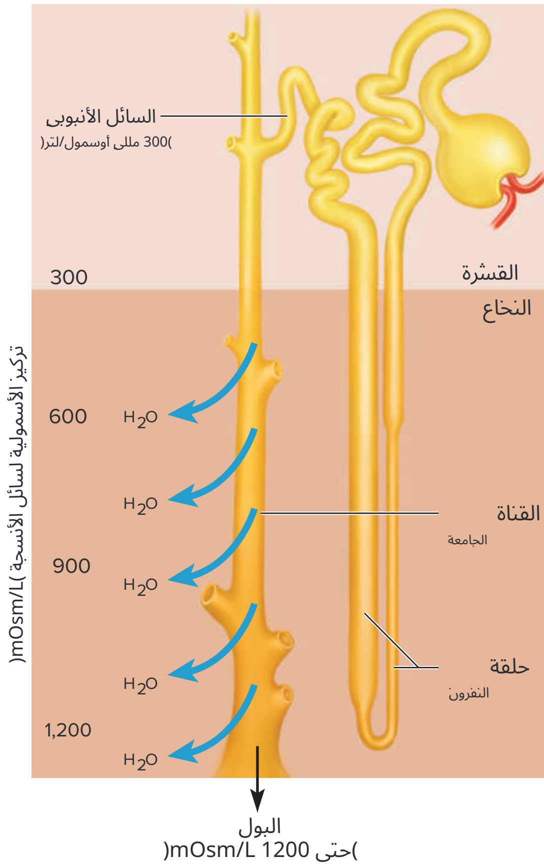
من ناحية أخرى، يسبب الجفاف أن يكون البول قليلًا وأكثر تركيزًا. الأسمولية العالية فى دم الشخص الجاف تحفز الغدة النخامية على إفراز هرمون مضاد لإدرار البول (ADH). يزيد ADH من إعادة امتصاص الماء (يقلل من كمية البول) بطريقتين. (1) خلال ثوانٍ، تنقل خلايا القناة الجامعة الأكوابورينات من الحويصلات المخزنة فى السيتوبلازم إلى سطح الخلية القمى وتبدأ الخلايا فى امتصاص المزيد من الماء من السائل الأنبوبى. (2) إذا ظل مستوى ADH ≥ مرتفعاً لمدة 24 ساعة، فإنه يحفز الخلية على نسخ جين الأكوابورين وتصنيع المزيد من الأكوابورينات، مما يزيد من نفاذية الماء فى القناة الجامعة.

[17] *الإدرار* = التبول

تكون تركيزات الملح فى النخاع أضعاف ما هى عليه فى القشرة. كنا ن
توقع أن ينتشر الملح نحو القشرة حتى يتوزع بالتساوى فى الكلية. ومع
ذلك، هناك آلية تتجاوز هذا: يعمل حلقة النفرون كـ مضاعف تيار معا
كس، الذى يعيد باستمرار التقاط الملح ويعيده إلى نسيج النخاع العم
يق. يُسمى *المضاعف* لأنه يضاعف الأسمولارية فى عمق النخاع، *وآلي*
ة التيار المعاكس لأنه يعتمد على تدفق السوائل فى اتجاهين متعاك
سين فى أنبوبين متجاورين — نزولاً فى الذراع النازل وصعوداً فى الذرا
ع الصاعد.

يوضح الشكل 23.20 كيف يعمل هذا. تشكل الخطوات 2 إلى 5
حلقة تغذية راجعة إيجابية. عندما يتدفق السائل نزولاً فى الذراع النازل
لحلقة النفرون، يمر عبر بيئة ذات أسمولارية متزايدة. معظم الذراع ال
نازل نفاذ جداً للماء لكنه غير نفاذ لـ NaCl؛ لذلك يمر الماء بالانتشار م
ن الأنبوب إلى السائل خارج الخلية، تاركاً NaCl خلفه. تزداد أسمولارية
محتويات الأنبوب، لتصل إلى حوالى 1200 mOsm/L بحلول الوقت
الذى يدور فيه السائل عند الانعطاف فى نهاية الحلقة السفلى.

على العكس من ذلك، فإن معظم أو كل الذراع الصاعد)الجزء ال
سميك منه(غير نفاذ للماء، لكنه يحتوى على مضخات تنقل بشكل م
شترك Na^+، K^+ وCl^- إلى السائل خارج الخلية. هذا يحافظ على ارتفاع
الأسمولارية فى نخاع الكلية. وبما أن الماء يبقى فى الأنبوب، يصبح ا
لسائل الأنبوبى أكثر تخفيفاً كلما اقترب من القشرة، ويصل إلى حوالى
100 mOsm/L فقط فى أعلى الحلقة.

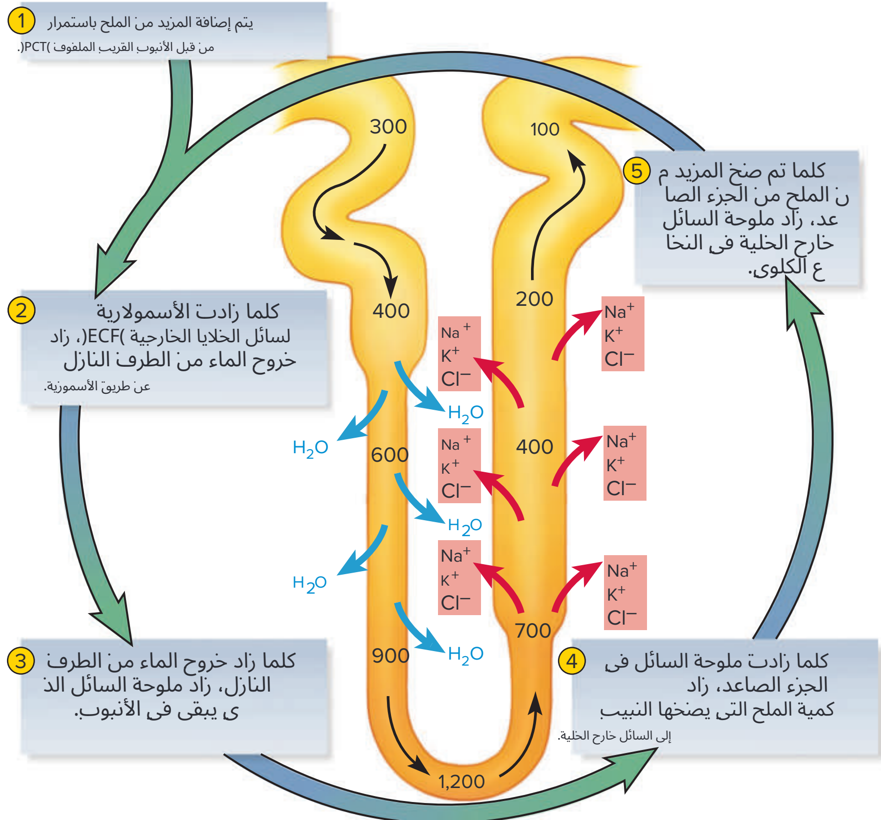


الشكل 23.19 إعادة امتصاص الماء بواسطة
القناة الجامعة. لاحظ أن أسمولارية
سائل النسيج تزداد أربعة أضعاف من 300 mOsm/L فى
القشرة إلى 1200 mOsm/L فى عمق النخاع.
تزداد تركيز البول بشكل متناسب مع خروج الماء من ال
قناة عبر قنوات الأكوابورين الخاصة بها.

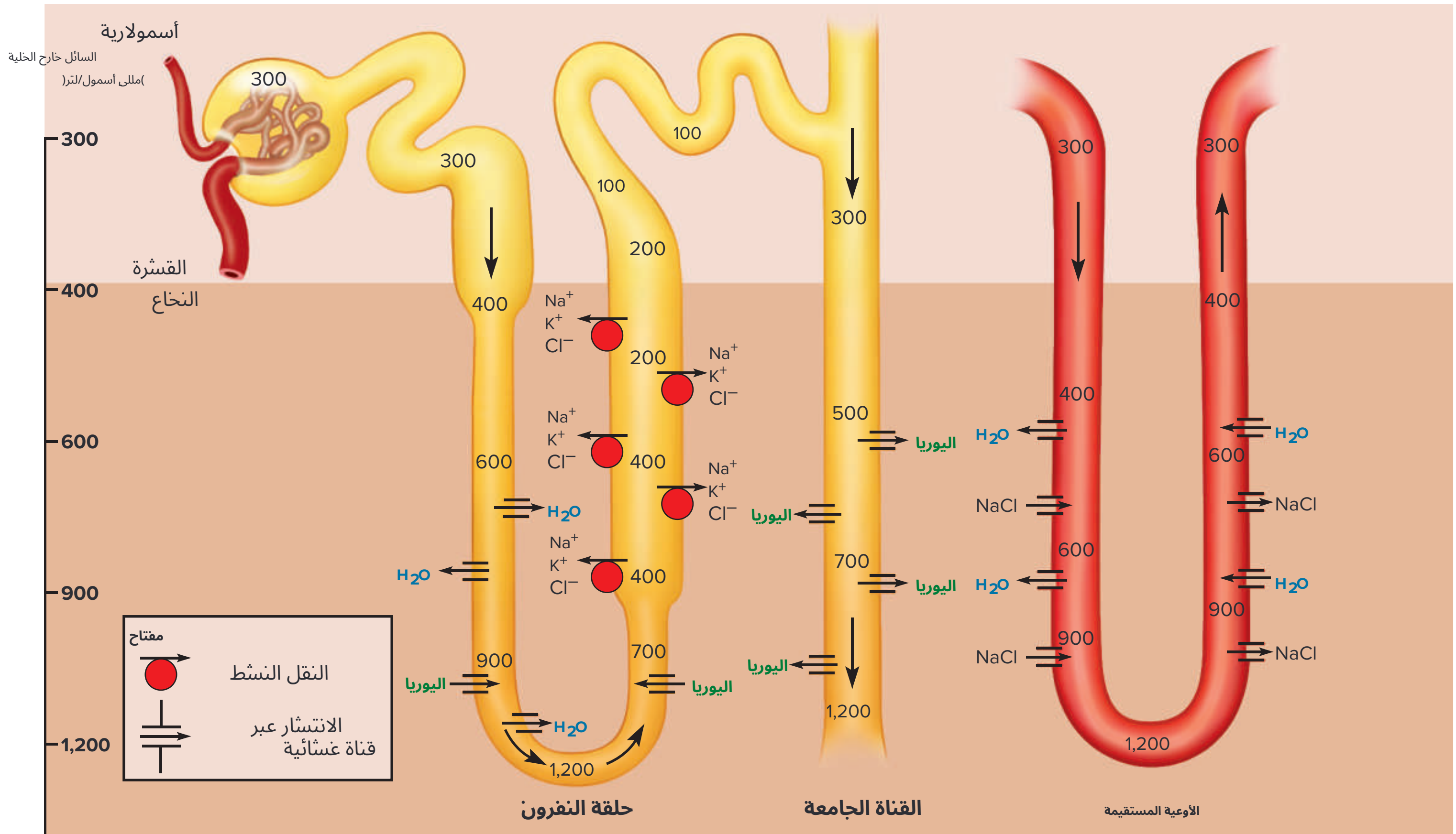
على النقيض من ذلك، عندما تكون رطبًا جيدًا،
ينخفض إفراز هرمون مضاد الإدرار)ADH(؛ تقوم خلايا الأنابيب بإزالة
قنوات الأكوابورين من غشاء البلازما وتخزينها
فى الحويصلات السيتوبلازمية. يصبح القناة أقل
نفاذية للماء، لذا يبقى المزيد من الماء فى
القناة وتنتج بولًا وفيرًا ومخففًا.
فى الحالات القصوى، يكون ضغط دم الشخص الح
اف منخفضًا بما يكفى لتقليل معدل الترشيح الكبيبى
بشكل كبير. عندما يكون معدل الترشيح الكبيبى منخف
ضًا، يتدفق السائل ببطء عبر الأنابيب الكلوية ويكون ه
ناك وقت أكثر لإعادة الامتصاص الأنبوبى. يبقى ملح أق
ل فى البول عند دخوله إلى القناة الجامعة، لذا يكون هنا
ك مقاومة أقل لعملية التناضح للماء خارج القناة وإلى ا
لسائل خارج الخلايا)ECF(. يتم إعادة امتصاص المزيد م
ن الماء وينتج بول أقل.

23.5ح المضاعف المتعاكس

تعتمد قدرة القناة الجامعة على تركيز البول على التدرج
التناضحى للنخاع الكلوى. قد يبدو من المفاجئ أن ال
تناضحية فى السائل خارج الخلايا هى أربعة



الشكل 23.20 المضاعف المتعاكس لتدفق حلقة النفرون.
الأرقام فى الأنابيب بوحدة مللى أوسمول/لتر.



الشكل 23.21 العلاقة الوظيفية بين حلقة النفرون، الأوعية المستقيمة، والقناة الجامعة. تعمل هذه الهياكل الثلاثة معًا للحفاظ على تدرج الأسمولارية فى النخاع ا لكلوى. الأرقام فى الأنابيب والأوعية المستقيمة معبر عنها بوحدة مللى أسمول/لتر.

وينتشر الملح إلى الداخل. ولكن عندما يعود الدم إلى القشرة، يحدث ا لعكس؛ حيث تتخلى الأوعية المستقيمة عن الملح وتمتص الماء. فى الواقع، تمتص الأوعية المستقيمة كمية ماء أكبر فى طريق خروجها مما تفقده فى طريق دخولها. وهكذا، تحمل الماء الذى تم امتصاصه بواسطة الكلية لكنها لا تقلل من أسمولارية النخاع.

لتلخيص ما درسناه فى هذا القسم، يمكن للقناة الجامعة تعديل إ عادة امتصاص الماء لإنتاج بول منخفض التوتر (مخفف) يصل إلى 50 mOsm/L أو عالى التوتر (مركز) يصل إلى 1200 mOsm/ L، اعتمادًا على حاجة الجسم للحفاظ على الماء أو التخل ص منه. فى حالة الترطيب، لا يُفرز هرمون مضاد لإدرار البول (ADH) ويُعاد امتصاص الملح فى الجزء القشرى من القناة الجامعة دون إعادة امتصاص الماء؛ يبقى الماء ليُطرح فى البول المخفف.

فى حالة الجفاف، يُفرز هرمون مضاد لإدرار البول (ADH)، ويُعاد امتصا ص الماء فى الجزء النخاعى من القناة الجامعة، ويصبح البول أكثر تركيزًا. يستطيع القناة الجامعة القيام بذلك لأنها تمر عبر تدرج أسموزى فى ا لنخاع من 300 مللى أسمول/لتر بالقرب من القشرة إلى 1200 مللى أ سمول/لتر بالقرب من الحلمة. يتم الحفاظ على هذا التدرج بواسطة ال مضاعف العكسى لحلقة النفرون، الذى يركز NaCl فى النخاع السفلى، ومن خلال انتشار اليوريا من القناة الجامعة إلى النخاع. ترتب الأوعية ا لمستقيمة كنظام تبادل عكسى يمكنها من إزالة الماء من النخاع دون ا لتأثير على تدرجها الأسموزى.

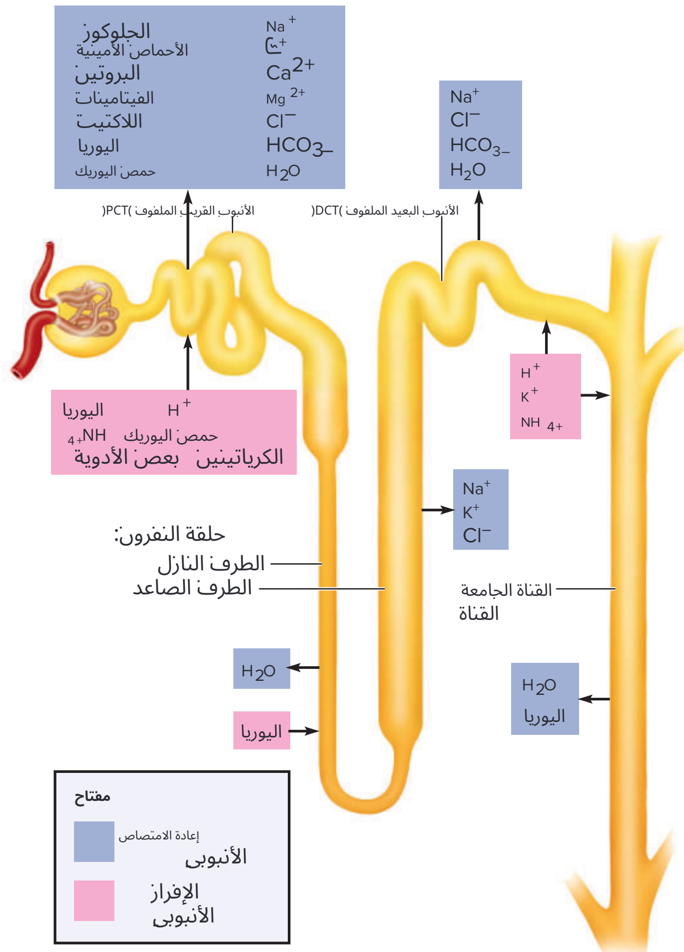
حوالى 40% من الأسمولارية العالية فى نسيج النخاع العميق لا تعود إلى NaCl و KCl، بل إلى اليوريا — التى تدور باستمرار من القناة الجامعة إلى حلقة النبيب الكلوى ثم تعود (الشكل 23.21). الطرف ا لسفلى من القناة الجامعة يسمح إلى حد ما بمرور اليوريا، مما يمكنها من الانتشار إلى السائل خارج الخلية. يدخل جزء منها إلى الطرف الناز ل من الحلقة ويسير عبر الحلقة والنبيب القاصى (DCT) عائدًا إلى الق ناة الجامعة. لا يسمح الجزء السميك ولا النبيب القاصى بمرور اليوريا. مع إضافة اليوريا الجديدة باستمرار عن طريق الترشيح الكبيبى، تبقى اليوريا مركزة فى القناة الجامعة ويخرج جزء منها دائمًا إلى النخاع، مما يزيد من أسمولاريته.

23.5د نظام التبادل العكسى

يجب إعادة الحجم الكبير من الماء الذى يُعاد امتصاصه بواسطة القناة الجامعة إلى مجرى الدم. يتم التقاطه وحمله بعيدًا بواسطة الأوعية الم ستقيمة (vasa recta)، لكن هذا يطرح مشكلة: لماذا لا تحمل الأوعية المستقيمة أيضًا اليوريا والملح اللازمين للحفاظ على الأسمولارية العا لية للنخاع؟ الجواب هو أن الأوعية المستقيمة تشكل نظام تبادل عك سى يمنع ذلك. يتدفق الدم فى اتجاهين متعاكسين فى شعيرات دمو ية متوازية متجاورة. أثناء تدفقه نزولًا إلى النخاع، تتبادل الأوعية الماء مع الملح — ينتشر الماء خارج الشعيرات الدموية

الجدول 23.1 الهرمونات التي تؤثر على وظيفة الكلى

هرمون	الأهداف الكلوية	التأثيرات
الدوستيرون	حلقة النفرون، الأنبوب القاصي (DCT)، القناة الجامعة (CD)	يعزز إعادة امتصاص Na^+ وإفراز K^+؛ يعزز بشكل غير مباشر إعادة امتصاص Cl^- وH_2O؛ يحافظ على حجم الدم ويقلل من حجم البول
أنجيوتنسين II	الشرايين الواردة والصادرة، الا نبوب القريب (PCT)	يقلل فقدان الماء، يحفز العطش ويشجع على تناول الماء، ويضيّق الأوعية الدموية، مما يرفع ضغط الد م. يقلل معدل الترشيح الكبيبي (GFR)؛ يحفز الأنبوب القريب على إعادة امتصاص NaCl و2H O؛ يح فز إفراز الألدوستيرون وهرمون مضاد الإدرار (ADH)
هرمون مضاد الإدرار	القناة الجامعة	يعزز إعادة امتصاص 2H O؛ يقلل حجم البول، ويزيد التركيز
الببتيدات المدرّة للصوديوم	الشرايين الواردة والصادرة، القناة الجامعة	يوسع الشريان الوارد، يضيّق الشريان الصادر، يزيد معدل الترشيح الكبيبي (GFR)؛ يثبط إفراز الرينين، A DH، والألدوستيرون؛ يثبط إعادة امتصاص NaCl بواسطة القناة الجامعة؛ يزيد حجم البول ويخفض ضغط الدم
الكالسيتونين	الأنبوب البعيد الملفوف (DCT)	تأثيرات ضعيفة مشابهة لتأثيرات هرمون الغدة الجار درقية
الكالسيتريول	الأنبوب البعيد الملفوف (DCT)	تأثيرات ضعيفة مشابهة لتأثيرات هرمون الغدة الجار درقية
الأدرينالين و النورأدرينالين	الجهاز الكبيبي المجاور، الشريان المرافق	تحفيز إفراز الرينين؛ تضييق الشريان المرافق؛ تقليل معدل الترشيح الكبيبي وحجم البول
هرمون الغدة الجار درقية	الأنبوب القريب (PCT)، الأنبوب البعيد (DCT)، حلقة النبيب الكلوي	يعزز إعادة امتصاص Ca^{+2} بواسطة الحلقة والأنبوب البعيد؛ يزيد من إفراز الفوسفات بواسطة الأنبوب القريب؛ يعزز تخليق الكالسيتريول



الشكل 23.22 الأملاح التي تم إعادة امتصاصها وإفرازها في كل جزء من النبيب الكلوي.

الشكل 23.22 يلخص المواد الذائبة الرئيسية التي يتم إعادة امتصاصها و إفرازها في كل جزء من الأنابيب الكلوية. الجدول 23.1 يلخص الهرمونات التي تؤثر على وظيفة الكلى.

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

14. توقع كيف سيؤثر فرط إفراز الهرمون المضاد لإدرار البول (ADH) على تركيز الصوديوم في البول، وفسر السبب.
15. قارن بإيجاز بين دور المضاعف المتعاكس ودور المبادل المتعاكس.
16. كيف ستتغير وظيفة القناة الجامعة إذا لم تكن حلقة النفرون مو جودة؟

23.6 اختبارات البول ووظيفة الكلى

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادراً على

أ. وصف تركيب وخصائص البول؛ و

ب. إجراء بعض الحسابات لتقييم وظيفة الكلى.

غالبًا ما يعتمد التشخيص الطبي على تحديد الحالة الفسيولوجية الحا لية والحديثة للأنسجة. لا يوجد سائلان أكثر قيمة لهذا الغرض من الدم والبول. تحليل البول، وهو فحص الخصائص الفيزيائية والكيميائية ل لبول، هو بالتالي أحد الإجراءات الروتينية الأكثر شيوعًا في الفحوصات الطبية. يتم هنا وصف الخصائص الرئيسية للبول وبعض الاختبارات ا لمستخدمة لتقييم وظيفة الكلى.

الجدول 23.2 خصائص وتركيب البول

الخصائص الفيزيائية		
الكثافة النوعية	1.001–1.028	
الأسمولية	50–1,200 mOsm/L	
درجة الحموضة (pH)	8.2–4.5 (المتوسط 6.0)	
المذاب	**التركيز***	**النواتج****
الأيونات غير العضوية		
الكلوريد	533 ملغ/ديسيلتر	6.4 غرام/يوم
الصوديوم	333 ملغ/ديسيلتر	4.0 غرام/يوم
البوتاسيوم	166 ملغ/ديسيلتر	2.0 جم/يوم
فوسفات	83 ملغ/ديسيلتر	1 غرام/يوم
أمونيا	60 ملغ/ديسيلتر	0.68 غرام/يوم
كالسيوم	17 ملغ/ديسيلتر	0.2 غرام/يوم
مغنيسيوم	13 ملغ/ديسيلتر	0.16 غرام/يوم
النفايات النيتروجينية		
اليوريا	1.8 غرام/ديسيلتر	21 غرام/يوم
الكرياتينين	150 ملغ/ديسيلتر	1.8 غرام/يوم
حمض اليوريك	40 ملغ/ديسيلتر	0.5 جرام/يوم
يوروبيلين	125 ميكروغرام/ديسيلتر	1.52 ملغ/يوم
بيليروبين	20 ميكروغرام/ديسيلتر	0.24 ملغ/يوم
مواد عضوية أخرى		
الأحماض الأمينية	288 ميكروغرام/ديسيلتر	3.5 ملغ/يوم
الكيتونات	17 ميكروغرام/ديسيلتر	0.21 ملغ/يوم
الكربوهيدرات	9 ميكروغرام/ديسيلتر	0.11 ملغ/يوم
الدهون	1.6 ميكروغرام/ديسيلتر	0.02 ملغ/يوم

*القيم النموذجية لشاب بالغ
**بافتراض إخراج بول بمقدار 1.2 لتر/يوم

23.6أ تركيب وخصائص البول

التركيب الأساسي وخصائص البول هي كما يلي:

- المظهر. يختلف لون البول من شفاف تقريبًا إلى كهرماني غامق، اعتمادًا على حالة ترطيب الجسم. اللون الأصفر للبول ناتج عن اليوركروم[18] وهو صبغة تنتج من تحلل الهيموغلوبين من كريات الدم الحمراء المنتهية. يمكن أن تؤدي بعض الأطعمة والفيتامينات والأدوية والأمراض الأيضية إلى ظهور ألوان وردية أو خضراء أو بنية أو سوداء وألوان أخرى. البول عادةً ما يكون شفافًا لكنه يصبح عكرًا عند الوقوف بسبب نمو البكتيريا. وجود القيح في البول (البيلة القيحية[19]) يجعله عكرًا ويدل على وجود عدوى في الكلى. وجود دم في البول (البيلة الدموية) قد يكون ناتجًا عن عدوى في المسالك البولية أو إصابة أو حصى في الكلى.
  العكارة أو وجود دم في عينة البول أحيانًا، مع ذلك، يشير ببساطة إلى تلوث بالسائل المنوي أو الإفرازات الحيصنية.

- الرائحة. للبول الطازج رائحة مميزة لكنها ليست بالضرورة كريهة. مع مرور الوقت، تتكاثر البكتيريا، وتحلل اليوريا إلى الأمونيا، وتنتج الرائحة النفاذة النموذجية للحفاضات الرطبة القديمة. يمكن أن تضفي الهليون وأطعمة أخرى روائح مميزة على البول. داء السكري يعطي البول رائحة حلوة وفاكهية تشبه الأسيتون. الرائحة الفأرية تشير إلى الفينيل كيتونوريا (PKU)، والرائحة التي تشبه اللحم المتعفن قد تدل على عدوى في المسالك البولية.
- الكثافة النوعية. هي نسبة كثافة (جم/مل) مادة ما إلى كثافة الماء المقطر. الماء المقطر له كثافة نوعية 1.000، ويتراوح البول بين 1.001 عندما يكون مخففًا جدًا إلى 1.028 عندما يكون مركزًا جدًا.
  ضرب الرقمين الأخيرين من الكثافة النوعية في ثابت تناسبي مقداره 2.6 يعطي تقديرًا لجرامات المادة الصلبة لكل لتر من البول. على سبيل المثال، كثافة نوعية 1.025 تشير إلى تركيز محلول مقداره 25 × 2.6 = 65 جم/لتر.

- الأسمولارية. يمكن أن يكون للبول أسمولارية منخفضة تصل إلى 50 مللي أسمول/لتر في الشخص المرطب جيدًا أو عالية تصل إلى 1,200 مللي أسمول/لتر في الشخص الجاف. مقارنة بأسمولارية الدم (300 مللي أسمول/لتر)، يمكن أن يكون البول إما منخفض التوتر أو عالي التوتر.
- pH. ينتج الجسم باستمرار أحماضًا أيضية ويتخلص منها عن طريق إفراز بول حمضي خفيف، عادةً ما يكون pH حوالي 6.0 (لكن يتراوح بين 4.5 إلى 8.2).
  الفصل التالي يشرح كيف تنظم الكلى درجة حموضة البول
  .
- التركيب الكيميائي. يتكون البول في المتوسط من 95% ماء و5% مواد مذابة بالحجم (الجدول 23.2). عادةً ما يكون أكثر المذابين وفرة هو اليوريا، تليها كلوريد الصوديوم، كلوريد البوتاسيوم، وكميات أقل من الكرياتينين، حمض اليوريك، الفوسفات، الكبريتات، وآثار من الكالسيوم،

المغنيسيوم، وأحيانًا البيكربونات. يحتوي البول على اليوركروم وكمية ضئيلة من البيليروبين الناتج عن تحلل الهيموغلوبين والمنتجات المرتبطة به، والأوروبيلين، وهو مشتق بني مؤكسد من البيليروبين. من غير الطبيعي وجود الجلوكوز، الهيموغلوبين الحر، الألبومين، الكيتونات، أو أصباغ الصفراء في البول؛ وجودها مؤشر مهم على المرض.

23.6ب حجم البول

ينتج البالغ العادي من 1 إلى 2 لتر من البول يوميًا. يُسمى إخراج البول أكثر من 2 لتر/يوم التبول الزائد أو كثرة التبول[20] (POL-ee-YOU-ree-uh). يمكن أن يؤدي تناول السوائل وبعض الأدوية إلى زيادة مؤقتة في الإخراج تصل إلى 20 لتر/يوم. يمكن للأمراض المزمنة مثل السكري (انظر التالي) أن تسبب ذلك على المدى الطويل. قلة البول[21] (oll-ih-GURE-ee-uh)

[18] *البول* = البول؛ *اللون* = اللون
[19] صديد = الصديد؛ *بول* = البول؛ *حالة* = الحالة

[20] *كثير* = كثير، متعدد؛ *بول* = البول؛ *حالة* = الحالة
[21] *قليل* = قليل، ضئيل؛ *بول* = البول؛ *حالة* = الحالة

إعادة امتصاص كمية الماء المعتادة. تُستخدم المدرات البولية عادة لع لاج ارتفاع ضغط الدم وفشل القلب الاحتقاني عن طريق تقليل حجم سوائل الجسم وضغط الدم.

23.6ح اختبارات وظائف الكلى

هناك عدة اختبارات لتشخيص أمراض الكلى، وتقييم شدتها، ومراقبة تقدمها. هنا نستعرض طريقتين تُستخدمان لتحديد تصفية الكلى ومع دل الترشيح الكبيبي.

تصفية الكلى

تصفية الكلى هي حجم بلازما الدم التي يتم إزالة نفايات معينة منها با لكامل خلال دقيقة واحدة. وهي تمثل التأثير الصافي لثلاث عمليات:

Glomerular filtration of the waste
+ Amount added by tubular secretion
− Amount removed by tubular reabsorption

Renal clearance

من الناحية النظرية، يمكننا تحديد تصفية الكلى عن طريق أخذ ع ينات من الدم الداخل والخارج من الكلية ومقارنة تركيزات النفايات ف يهما. عمليًا، ليس من العملي سحب عينات دم من الشريان والوريد ا لكلويين، لكن يمكن تقييم التصفية بشكل غير مباشر عن طريق جمع عينات من الدم والبول، وقياس تركيز النفايات في كل منهما، وقياس معدل إخراج البول.

لنفترض أن القيم التالية تم الحصول عليها لليوريا:

U (urea concentration in urine) = 6.0 mg/mL
V (rate of urine output) = 2 mL/min.
P (urea concentration in plasma) = 0.2 mg/mL

التصفية الكلوية)C(لليوريا ستكون:

$$C = UV/P$$
$$= (6.0\ \text{mg/mL})(2\ \text{mL/min.})/0.2\ \text{mg/mL}$$
$$= 60\ \text{mL/min.}$$

هذا يعني أن ما يعادل 60 مل من بلازما الدم يتم تطهيره تمامًا من ال يوريا في الدقيقة. إذا كان لدى هذا الشخص معدل الترشيح الكبيبي) GFR(الطبيعي وهو 125 مل/دقيقة، فإن الكليتين س تطهران اليوريا من 60/125 = 48% من الترشيح الكبيبي. هذا معدل طبيعي لتطهير اليوريا وكافٍ للحفاظ على مستويات آمنة من اليوريا في الدم.

▶▶▶ طبق ما تعرفه
ما القيمة التي تتوقعها لتطهير الكلى للجلوكوز في شخص سليم؟ ولماذا؟

ن الإخراج أقل من 500 مل/يوم، وانعدام البول[22] هو إخراج من 0 إلى 100 م ل/يوم. يمكن أن ينتج الإخراج المنخفض عن أمراض الكلى، الجفاف، الصدمة الدموية، تضخم البروستاتا، وأسباب أخرى.

إذا انخفض إخراج البول إلى أقل من 400 مل/يوم، لا يستطيع الجسم ال حفاظ على تركيز آمن ومنخفض للفضلات في بلازما الدم. والنتيجة هي ا زوتيميا.

داء السكري

داء السكري[23] هو أي اضطراب أيضي يؤدي إلى كثرة التبول المزمنة. هناك على الأقل أربعة أشكال من داء السكري: *داء السكري السكري*[24] *النوع 1 والنوع 2، داء السكري الحملي، و داء السكري الكاذب.*[25] في معظم الحالات، تنتج كثرة التبول عن تركيز عالٍ للجلوكوز في النبي ب الكلوي. يحتفظ الجلوكوز بالماء أسموزياً في النبيب، لذا يمر المزيد من الماء في البول *)الإدرار الأسموزي(* وقد يصاب الشخص بجفاف شديد. في داء السكري السكري وداء السكري الحملي، يكون مستوى ا لجلوكوز العالي في السائل النبيبي نتيجة فرط سكر الدم، وهو ارتفاع م ستوى السكر في الدم. حوالي 1% إلى 3% من النساء الحوامل يعانين من داء السكري الحملي، حيث تقل حساسية الأم للأنسولين أثناء الح مل، مما يؤدي إلى فرط سكر الدم ووجود الجلوكوز في البول. ينتج داء السكري الكاذب عن نقص إفراز هرمون مضاد الإدرار)ADH(. بدون A DH، لا يعيد القناة الجامعة امتصاص كمية كبيرة من ا لماء، لذا يمر المزيد من الماء في البول.

داء السكري ومرض السكري الحملي يتميزان بوجود الجلوكوز في البول)الجلوكوزوريا(. قبل تطوير الاختبارات الكيميائية للكشف عن ج لوكوز البول، كان الأطباء يشخصون داء السكري عن طريق تذوق بول ا لمريض لمعرفة حلاوته. أما الآن، فإن اختبارات الجلوكوزوريا أصبحت بسيطة للغاية، حيث يتم غمس شريط اختبار كيميائي في عينة البول — وهو تقدم في التكنولوجيا الطبية يقدره أطباء المسالك البولية بلا شك. في داء السكري الكاذب، لا يحتوي البول على جلوكوز، وبالطريقة التشخيصية القديمة، لن يكون طعمه حلوًا.

مدرات البول

المدر للبول هو أي مادة كيميائية تزيد من حجم البول. بعض المدرات، مثل ا لكافيين، تعمل عن طريق توسيع الشريان المرفقي)الشريان الوارد(وبالتالي زيادة معدل الترشيح الكبيبي. ومع ذلك، عند المستويات التي يتم تناولها في استهلاك معتدل للقهوة أو الشاي، لا يكون للكافيين تأثير مدر للبول ذو دلالة إحصائية. الكحول يزيد من إخراج البول عن طريق تثبيط إفراز هرمون مضاد لإدرار البول)ADH(وبالتالي تقليل إعادة الامتصاص في القناة الجامعة. المد رات الحلقية مثل الفوروسيميد)Lasix(تعمل على حلقة النبيب الكلوي عن طريق تثبيط الناقل المشترك للصوديوم والبوتاسيوم والكلور)Na^+–K^+–Cl^-(. هذا يضعف المضاعف المتعاكس للتيار، مما يقلل التدرج الاسموزي في ا لنخاع الكلوي ويجعل القناة الجامعة غير قادرة على

[22] *an* = بدون؛ *ur* = البول؛ *ia* = حالة
[23] *diabetes* = المرور عبر
[24] *melli* = عسل، حلو
[25] *insipid* = بلا طعم

تخزين البول والتخلص منه 23.7

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادراً على

أ. وصف التشريح الوظيفى للحالبين، والمثانة البولية، والإحليل لدى الذكور والإناث؛ و

ب. شرح كيف يتحكم الجهاز العصبى وصمامات الإحليل فى تفريغ ا لبول.

يُنتج البول باستمرار، ولكن لحسن الحظ لا يتدفق باستمرار من الجس م. التبول هو حدث متقطع — يحدث عندما نسمح به. وهذا ممكن ب فضل جهاز لتخزين البول وضوابط عصبية لإطلاقه فى الوقت المناس ب.

23.7أ الحالبان

تقوم حوض الكلية بتوجيه البول إلى الحالب، وهو أنبوب عضلى خلف الصفاق يمتد إلى المثانة البولية. يبلغ طول الحالب حوالى 25 سم وى صل إلى قطر أقصى يبلغ حوالى 1.7 سم بالقرب من المثانة. يمر الحا لبان خلف المثانة ويدخلانها من الأسفل، مارين بشكل مائل عبر جداره ا العضلى ويفتحان على قاعها. تعمل قطعة صغيرة من الغشاء المخاط ى كصمام عند فتحة كل حالب إلى المثانة، مما يمنع ارتجاع البول إلى الحالب عند انقباض المثانة.

الحالب له ثلاث طبقات: الطبقة الخارجية)الأدفنتيشيا(، الطبقة ا لعضلية، والطبقة المخاطية. الأدفنتيشيا هى طبقة من النسيج الضام تربطه بالأنسجة المحيطة. تتكون الطبقة العضلية من طبقتين من الع ضلات الملساء على معظم طوله، لكن تظهر طبقة ثالثة فى الجزء الس فلى من الحالب. تحتوى الطبقة المخاطية على ظهارة بولية)ظهارة ان تقالية(تبدأ فى الكؤوس الصغيرة للكلى وتمتد من هناك عبر المثانة.

عندما يدخل البول إلى الحالب ويتمدده، تنقبض الطبقة العضلية وتبدأ موجة دودية تدفع البول من الحوض الكلوى إلى المثانة. تحدث هذه الانقباضات كل بضع ثوانٍ إلى دقائق، بما يتناسب مع معدل دخ ول البول إلى الحالب. تجويف الحالب ضيق جدًا ويسهل انسداده أو إ صابته بحصوات الكلى)انظر التعمق 23.2(.

23.7ب المثانة البولية

المثانة البولية)الشكل 23.23(هى كيس عضلى على أرضية تجويف ا لحوض، أسفل الصفاق وخلف الارتفاق العانى. يغطيها الصفاق الجدار ى على سطحها العلوى المسطح، وتغطيها الأدفنتيشيا الليفية فى أما كن أخرى.

معدل الترشيح الكبيبى

غالبًا ما يتطلب تقييم مرض الكلى قياس معدل الترشيح الكبيبى)GFR(. لا يمكننا تحديد GFR من خلال إفراز اليوريا لسببين:)1(بعض اليوريا فى البول يتم إفرازها بواسطة النبيب الكلوى، وليست مفلترة بواسطة ا لكبيبة، و)2(يتم إعادة امتصاص جزء كبير من اليوريا التى تم ترشيحها بواسطة الكبيبة فى النبيب. لقياس GFR بشكل مثالى، يتطلب وجود ما دة لا يتم إفرازها أو إعادة امتصاصها على الإطلاق، بحيث تصل كلها إلى البول عن طريق الترشيح الكبيبى فقط.
لا يبدو أن هناك مادة مذابة فى البول ينتجها الجسم
لا يتم إفرازها أو إعادة امتصاصها إلى حد ما.
ومع ذلك، تنتج عدة نباتات، بما فى ذلك الثوم والخرشوف، عديد سكاريد يُسمى الإينولين)IN-you-lin؛ لا يُخلط مع الإنسولين(وهو مفيد لقياس معدل الترشيح الكبيبى)GFR(. كل الإينولين الذى يرشح عبر الكبيبة يبقى فى النبيب الكلوى ويظهر فى البول؛ لا يتم إعادة امتصاصه، ولا يفرزه النبيب.
يمكن قياس معدل الترشيح الكبيبى عن طريق حقن الإينولين ثم قيا س معدل إخراج البول وتركيزات الإينولين فى الدم والبول.

بالنسبة للإينولين، يكون معدل الترشيح الكبيبى مساويًا للتصفية الكلوية.
على سبيل المثال، إذا كان تركيز الإينولين فى بلازما المريض
P = 0.5 ملغم/مل، وتركيز البول U = 30 ملغم/مل، ومعدل إخراج البول
V = 2 مل/دقيقة، فإن هذا الشخص لديه معدل ترشيح كبيبى طبيعى:

$$GFR = UV/P$$

$$= (30\ mg/mL)(2\ mL/min.)/0.5\ mg/mL$$

$$= 120\ mL/min.$$

فى الممارسة السريرية، يُقدّر معدل الترشيح الكبيبى غالبًا من خلال إفراز الكرياتينين. هذا ينطوى على خطأ صغير لكنه مقبول فى القياس، ويُعد إجراءً أسهل من حقن وقياس الإينولين.
المادة المذابة التى يُعاد امتصاصها بواسطة الأنابيب الكلوية سيكون لها تصفية كلية أقل من معدل الترشيح الكبيبى)بشرط أن يكون إفرازها الأنبوبى أقل من معدل إعادة امتصاصها(. ولهذا السبب، فإن تصفية اليوريا تبلغ حوالى 60 مل/دقيقة. أما المادة المذابة التى تُفرزها الأنابيب الكلوية فسيكون لها تصفية كلية أكبر من معدل الترشيح الكبيبى)بشرط ألا تتجاوز إعادة امتصاصها إفرازها(. على سبيل المثال، الكرياتينين له تصفية كلية تبلغ 140 مل/دقيقة.

قبل المتابعة

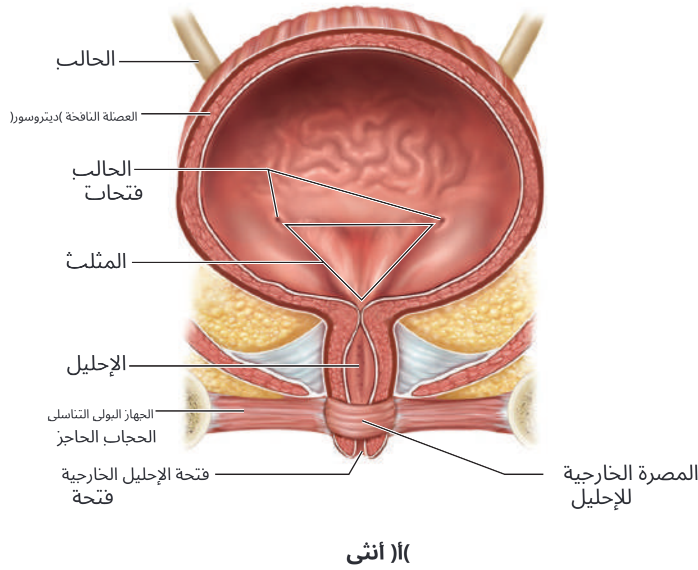
أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

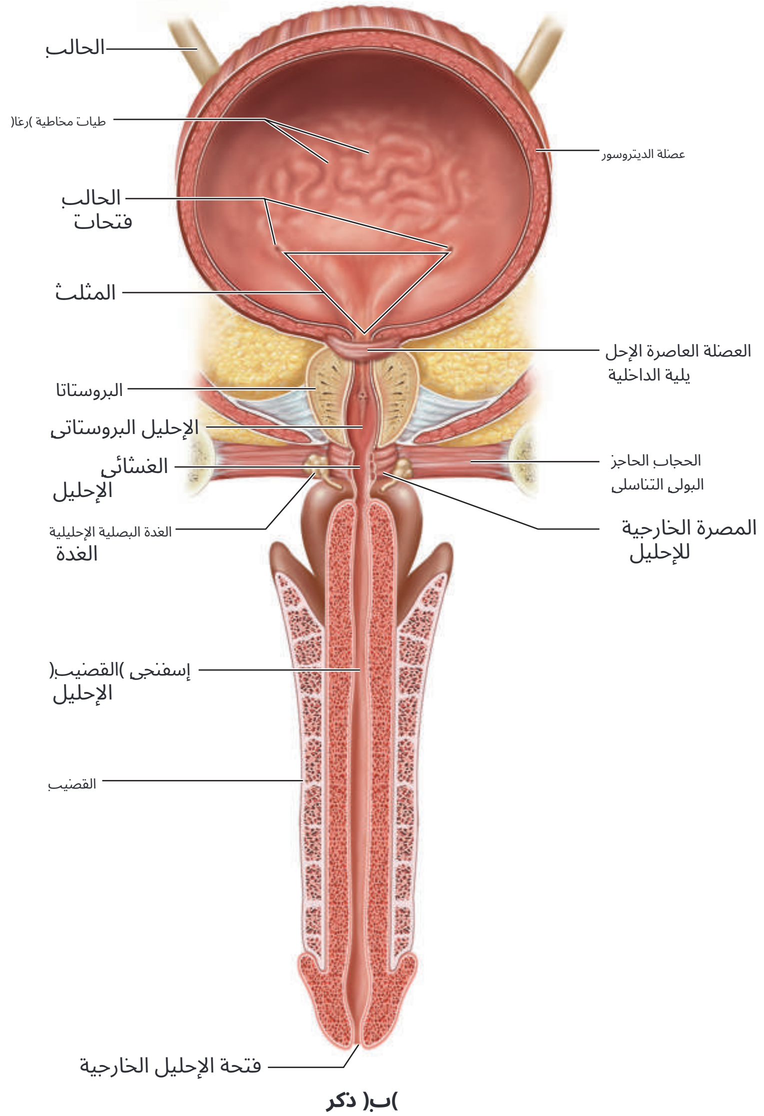
17. عرف قلة البول)oliguria(و كثرة البول)polyuria(. أى منهما يُعتبر من خصائص مرض السكرى؟

18. حدد سببًا لوجود الجلوكوز فى البول)glycosuria(غير داء السكرى.

19. كيف يُنتج البول الزائد بواسطة الفوروسيميد مثل البول الزائد الناتج عن داء السكرى؟ وكيف يختلفان؟

20. اشرح لماذا لا يمكن تحديد معدل الترشيح الكبيبى)GFR(بقيا س كمية NaCl فى البول.





السكل 23.23 المثانة البولية والإحليل
APR (مقاطع أمامية). (أ) أنثى. (ب) ذكر.

لماذا النساء أكثر عرضة من الرجال
لعدوى المثانة؟



نظرة أعمق 23.2

التطبيق السريري

حصى الكلى

الحصاة الكلوية (renal calculus) أو حصى الكلى هي حبيبة صلبة من كربونات الكالسيوم أو فوسفاتها وأحيانًا مكونات أخرى مثل حمض اليوريك (الشكل 23.24). يُطلق على وجود حصى الكلى اسم (nephrolithiasis) حصى الكلى). تتكون الحصوات الكلوية في حوض الكلية وعادة ما تكون صغيرة بما يكفي لتمر دون أن تُلاحظ في تدفق البول. ومع ذلك، تنمو بعض الحصوات لتصل إلى بضعة سنتيمترات وتسد حوض الكلية أو الحالب، مما قد يؤدي إلى تدمير النفرونات مع تراكم الضغط في الكلية. الحصاة الكبيرة والمتعرجة التي تمر عبر الحالب تحفز تقلصات قوية قد تكون مؤلمة للغاية. كما يمكن أن تمزق الحالب وتسبب دم البول (hematuria). تشمل أسباب حصى الكلى فرط كالسيوم الدم (زيادة الكالسيوم في الدم)، الجفاف، اختلالات الرقم الهيدروجيني، التهابات المسالك البولية المتكررة، أو تضخم غدة البروستاتا الذي يسبب احتباس البول. العلاج الأكثر شيوعًا لحصى الكلى في الولايات المتحدة يُسمى تفتيت الحصى بموجات الصدمة (shock wave lithotripsy) (SWL). يستلقي المريض على طاولة العمليات تحت التخدير العام مع وسادة مملوءة بالماء على البطن أو خلف الكلية. تُنتج من 1000 إلى 2000 شرارة كهربائية تحت الماء موجات صدمة مركزة تُفكك الحصوات إلى "غبار الحصى" الذي يمكن للمريض بعد ذلك تمريره مع البول.قد تتطلب الحصوات الكبيرة جدًا (>2 سم) إزالة جراحية، ولا يُستخدم تفتيت الحصى بموجات الصدمة للنساء الحوامل، أو المرضى الذين يعانون من السمنة المفرطة، وبعض الحالات الأخرى.



الشكل 23.24 حجر الكلى.
جوناثان كيرن/ستوكبايت/صور جيتي

[26] calc = كالسيوم، حجر؛ ul = صغير
[27] litho = حجر؛ tripsy = تكسير

الطهارة البولية بالقرب من المثانة، طهارة كاذبة الطبقات لمعظم طولها، وأخيرًا طهارة حرشفية متعددة الطبقات بالقرب من فتحة الإحليل الخارجية. توجد غدد مخاطية في جدار الإحليل.
في الذكور، العضلات الملساء حول عنق المثانة والإحليل القريب تختلف في نوعها الفسيولوجي عن العضلة الدترورور، وتتلقى تعصيبًا غنيًا من الجهاز العصبي الودي وتتسمك لتشكل طوقًا عضليًا يسمى ا لمصرة الإحليلية الداخلية. تقوم بضغط الإحليل عند انقباضها. يبدو أن وظيفتها هي منع ارتجاع السائل المنوي إلى المثانة أثناء القذف. لا يو جد دليل على وجود مصرة إحليلية داخلية في الإناث. ومع ذلك، في ك لا الجنسين، هناك مصرة إحليلية خارجية من العضلات الهيكلية تح يط بالإحليل حيث يمر عبر قاع الحوض.

هذا يوفر السيطرة الإرادية على التبول.

▶▶▶ طبق ما تعرفه
لماذا قد يكون من الأصعب على رجل يبلغ من العمر 75 عامًا إفراغ المثانة مقارنة برجل يبلغ من العمر 25 عامًا؟

23.7د التبول

بين فترات التبول، عندما تمتلئ المثانة، من المهم أن تسترخي عضلة الدترورور وأن تبقى مصرات الإحليل مغلقة. يتم ضمان ذلك بواسطة المسارات الودية التي تنشأ في الحبل الشوكي القطني العلوي. تسافر الألياف بعد العقدة عبر العصب تحت الحوض إلى عضلة الدترورور وا لمصرة الإحليلية الداخلية لدى الذكور. تسترخي عضلة الدترورور للسما ح بامتلاء المثانة، لكن المصرات تنقبض لضمان احتباس البول في ا لمثانة حتى يتم التبول إراديًا. تُحافظ المصرة الإحليلية الخارجية مغلقة بواسطة ألياف حركية جسدية تسافر من الحبل الشوكي العجزي عبر ا لعصب العاني إلى المصرّة.

لفهم فعل التبول، والذي يُسمى أيضًا التبول [33] (MIC-too-RISH-un)، لنبدأ بالرضع والأطفال الصغار جدًا الذين لم يطوروا بعد السيطرة الإرادية على المثانة. هنا، يتم التحكم فيه بواسطة انعكاس التبول النخاعي البسيط نسبيًا الموضح في الخطوات 1 إلى 4 من الشكل 23.25. امتلاء المثانة إلى حو 200 مل أو أكثر ينبه مستقبلات التمدد في جدار المثانة. ترسل هذه الإشارات عبر الألياف الحسية في العصب الحوضي إلى ال حبل الشوكي العجزي (عادةً الفقرات S2–S3). تنتقل الإشارات الصادر ة من الحبل الشوكي مرة أخرى إلى عضلات المثانة عبر الألياف الحرك ية في العصب الحوضي والعقدة اللاودية في جدار المثانة. يحفز الإخرا ح من العقدة عضلة الدتروسور على الانقباض. عندما لا يكون هناك تح كم إرادي في التبول، فإن هذا المنعكس وحده يفرغ البول من المثانة. وهذا هو الحال أيضًا لدى الأشخاص الذين يعانون من إصابات في الح بل الشوكي تفصل الدماغ عن الحبل الشوكي السفلي (انظر التعمق 23.4). عدم القدرة على التحكم الواعي في التبول يُسمى سلس البول، و يمكن أن ينتج ليس فقط عن إصابات الحبل الشوكي ولكن أيضًا عن ع دد من الحالات المرضية وكذلك التقدم في العمر (انظر الجدول 23.3).

ومع ذلك، عادةً ما يكون لدى الشخص أيضًا تحكم إرادي في الت بول. تُظهر هذه الآليات في الخطوات 5 حتى 8 من الشكل 23.25. لا تزال هناك بعض الشكوك في المجتمع الع لمي حول بعض التفاصيل. يُظهر الشكل الذكر، مع كل من المصرة الإ حليلية الداخلية والخارجية.

[33] mictur = التبول

طبقة العضلات الخاصة به، المسماة العضلة الدافعة (detrusor[28]) (د يه-ترو-زور)، تتكون من ثلاث طبقات من العضلات الملساء. فتحات الحا لبين والإحليل تحدد منطقة مثلثة ذات سطح أملس تُسمى المنطقة الم ثلثة (trigone[29]) (تراي-جون) في قاع المثانة. هذا الموقع هو موقع شا ئع لعدوى المثانة (انظر نطرة أعمق 23.3).
الطبقة المخاطية مبطنة بالطهارة البولية (urothelium)، التي تحتوي ع لى خلايا سطحية فريدة تُسمى *خلايا المظلة (umbrella cells)* تحميها من البول عالي التركيز والحامضي كما هو موضح في القسم 5.2ب. الطهارة هنا أ كثر سمكًا من أي مكان آخر في المسالك البولية، لأنها تتعرض لأطول فترة ل تخزين البول. عندما تكون المثانة فارغة، يكون سمك الطبقة المخاطية عادة خمس أو ست خلايا وتظهر بها تجاعيد تُسمى الطيات (rugae[30]) (رو-جي). مع امتلاء المثانة، تتسطح الطيات ويصبح سمك الطهارة خليتين أو ثلاث خ لايا. تحتوي المثانة الممتلئة بشكل متوسط على حوالي 500 مل من البول و تمتد حوالي 12.5 سم من الأعلى إلى الأسفل. السعة القصوى تتراوح بين 700 إلى 800 مل.

23.7ح الإحليل

ينقل الإحليل البول خارج الجسم. في الأنثى، هو أنبوب طوله 3 إلى 4 سم مرتبط بالجدار الأمامي للمهبل بواسطة نسيج ضام ليفي. فتحة الإ حليل، الفتحة الخارجية للإحليل تقع بين فتحة المهبل والبظر. يبلغ ط ول الإحليل الذكري حوالي 18 سم وله ثلاث مناطق: (1) الإحليل البرو ستاتي يبدأ من المثانة البولية ويمر حوالي 2.5 سم عبر البروستاتا. أ ثناء النشوة الجنسية، يستقبل السائل المنوي من الغدد التناسلية وق ناة القذف. (2) الإحليل الغشائي هو جزء قصير (0.5 سم) ذو جدار رق يق حيث يمر الإحليل عبر قاع الحوض العضلي. (3) الإحليل الإسفنج ي (القضيبي) طوله حوالي 15 سم ويمر عبر القضيب إلى الفتحة الخا رجية للإحليل. سُمي بذلك نسبة إلى الجسم الإسفنجي (corpus spongiosum) للقضيب، الذي يمر من خلاله. يأخذ الإحليل الذكري شكل حرف S: يمر نزولًا من المثانة، ثم ينحني إلى الأمام عند دخول جذر القضيب، ثم ينحني حوالي 90° نزولًا مرة أخرى عند دخوله الجزء الخارجي المعلق من القضيب. الطبقة المخاطية تحتوي على

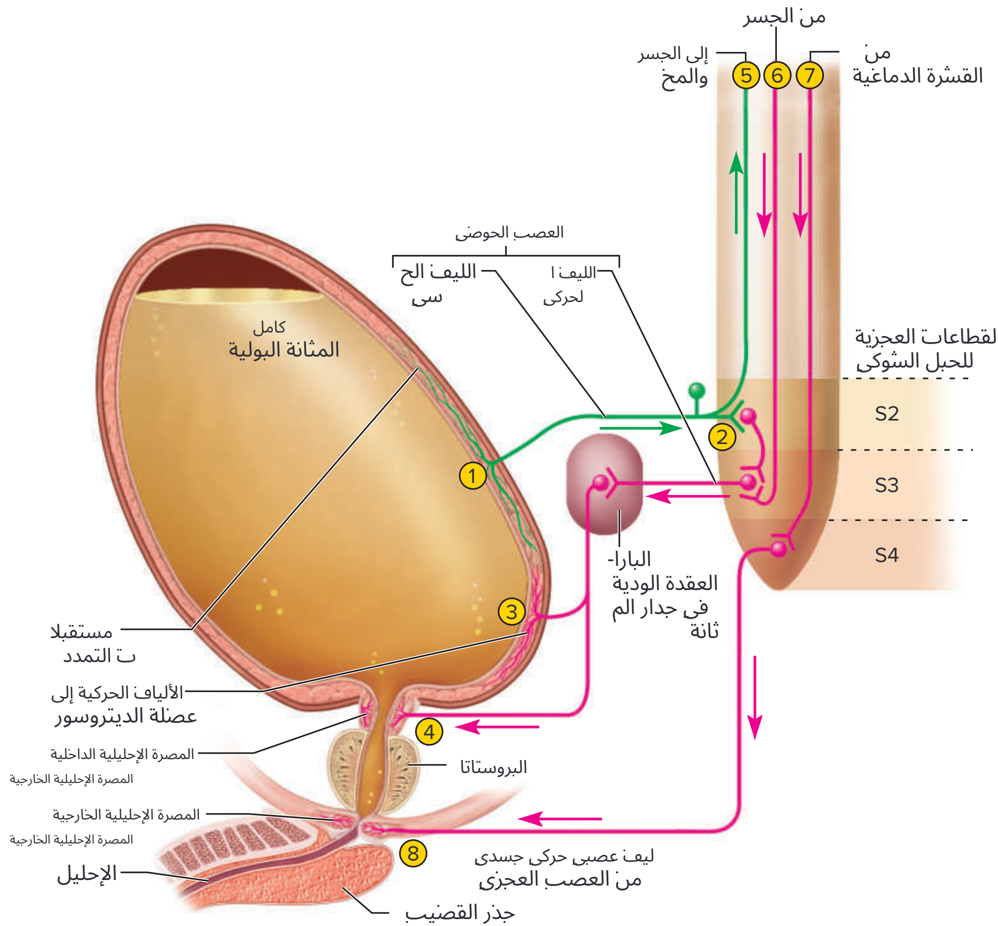


نظرة أعمق 23.3
التطبيق السريري

عدوى المسالك البولية (UTI)

التهاب المثانة البولية يُسمى التهاب المثانة.[31] وهو شائع بشكل خاص لدى الإنا ث لأن البكتيريا مثل الإشريكية القولونية (Escherichia coli) يمكن أن تنتقل بسهولة من العجان عبر الإحليل القصير. بسبب هذا الخطر، يجب تعليم الفتيات ا لصغيرات عدم مسح الشرج في اتجاه الأمام. غالبًا ما يُحفز التهاب المثانة لدى الن ساء عن طريق الجماع ("التهاب المثانة بعد شهر العسل"). إذا لم يُعالج التهاب الم ثانة، يمكن للبكتيريا أن تنتشر عبر الحالبين وتسبب التهاب الحويضة والكلية (pyelitis[32])، وهو التهاب حوض الكلية.
إذا وصل إلى قشرة الكلية والنفرونات، يُسمى التهاب الحويضة والكلية (pyelonephritis).
يمكن أن تنتج التهابات الكلى أيضًا عن غزو البكتيريا المحمولة في الدم.
ركود البول بسبب الحصوات الكلوية أو تضخم البروستاتا يزيد من خطر الإصابة بالعدوى.

[28] de = أسفل؛ trus = دفع
[29] tri = ثلاثة؛ gon = زاوية
[30] rugae = طيات، تجاعيد
[31] cyst = المثانة؛ itis = التهاب
[32] pyel = الحوض؛ itis = التهاب



المنعكس التبول اللا إرادى

1. تكتشف مستقبلات التمدد امتلاء المثانة، وتنقل الإشارات الصادرة إلى الحبل الشوكى.
2. تعود الإشارات إلى المثانة من مقاطع الحبل الشوكى S2 و S3 عبر الألياف اللاودية فى العصب الحوضى.
3. تحفز الإشارات الصادرة عضلة الدتروسور.
4. تُرخى الإشارات الصادرة المصرة الإحليلية الداخلية. يتم تفريغ البول لا إراديًا إذا لم يتم تثبيطه من قبل الدماغ.

السيطرة الإرادية

5. للسيطرة الإرادية، يستقبل مركز الـت بولفى الجسر إشارات من مستقبلا ت التمدد.
6. إذا كان الوقت مناسبًا للتبول، يرسل الجسر إشارات إلى الخلايا العصبية البينية فى الحبل الشوكى التى تحفز عضلة الدترسوسور وتُرخى المصرة الإحليلية الداخلية. يتم تفريغ البول.
7. إذا لم يكن الوقت مناسبًا للتبول، تحفز الإشارات القادمة من المخ الخلايا العصبية البينية فى الحبل الشوكى التى تحافظ على انقباض المصرة الإحليلية الخارجية. يُحتجز البول فى المثانة.
8. إذا كان الوقت مناسبًا للتبول، تمنع الإ شارات من المخ الخلايا العصبية الع جزية التى تحافظ على إغلاق الم صرة الخارجية. تُرخى المصرة الإحليلية ا لخارجية ويتم تفريغ البول.

الشكل 23.25 التحكم العصبى فى التبول عند الذكور. التحكم فى الأنثى يختلف قليلاً بسبب غياب المصرة الإحليلية الداخلية.

التعمق 23.4



التطبيق السريرى

التبول وإصابات الحبل الشوكى

معرفة التحكم العصبى فى التبول مهمة بشكل خاص لفهم وعلاج الأشخاص الذين يعانون من إصابات الحبل الشوكى.
قطع الحبل الشوكى، كما فى العديد من كسور الرقبة، يفصل مراكز التحكم فوق ال نخاعية)المخ والجسر(عن دوائر الحبل الشوكى التى تتحكم فى التبول. خلال فترة ا لصدمة الشوكية)انظر التعمق 13.5(، يكون الشخص عادةً غير قادر على التحكم فى التبول—يفتقر إلى أى سيطرة على التبول. تعود السيطرة على المثانة مع تعاف ى الحبل الشوكى، لكنها تقتصر على المنعكس اللاإرادى للتبول. غالبًا ما لا تستط ع المثانة التفريغ الكامل، وبالتالى يزداد حدوث التهاب المثانة.

التحكم فى توقيت التبول والقدرة على إيقاف التبول فى منتصف الط ريق. يتطور التحكم الإرادى مع نضوج الجهاز العصبى فى الطفولة الم بكرة. يقوم الذكور بطرد آخر بضعة مليلترات من البول عن طريق انقبا ض إرادى لعضلة البلبوكافيرنوزوس التى تغلف جذر القضيب. هذا ى ساعد على تقليل احتباس البول فى الإحليل الذكرى الأطول.

بغض النظر عن الجنس، تصعد الإشارات من مستقبلات التمدد فى المثانة عبر الحبل الشوكى إلى نواة فى الجسر تُسمى مركز التبول. تقوم هذه النواة بدمج المعلومات حول توتر المثانة مع معلومات من م راكز دماغية أخرى مثل اللوزة الدماغية والمخ. وبالتالى، يمكن أن يُحفز التبول بالخوف)عبر اللوزة الدماغية(أو يُمنع بوعى المخ بأن الظروف غ ير مناسبة للتبول. تنزل الألياف العصبية من مركز التبول عبر الحبل ا لشوكى من خلال المسارات الشبكية الشوكية. بعض هذه الألياف تـث بط الخلايا العصبية الودية التى تعصب وتضيّق المصرة الإحليلية الدا خلية لدى الذكور. أما الأخرى فتستمر نزولاً إلى الحبل الشوكى العجزى وتُنشط الخلايا العصبية اللاودية التى تُرخى المصرة الإحليلية الداخلية وتحفز عضلة المثانة)الدترسور(. يؤدى الانقباض الأولى لعضلة الدترو سور إلى زيادة الضغط فى المثانة، مما يُثير مستقبلات التمدد التى بدأت العملية؛ وهكذا، يتم إنشاء حلقة تغذية راجعة إيجابية تُكثف انق باض المثانة مع تقدم التبول.

لكى يبدأ المثانة فى التفريغ، يجب التغلب على عقبة أخيرة وهى ا لمصرة الإحليلية الخارجية.
تنزل الألياف العصبية من قشرة المخ عبر المسارات القشرية الشوكية وتثبط الخلايا العصبية الحركية الجسدية العجزية التى تحافظ عادةً عل ى انقباض المصرة. هذه هى المكون الإرادى للتبول الذى يمنح الشخ ص وعيًا

الجدول 23.3	**بعض اضطرابات الجهاز البولى**
التهاب كبيبات الكلى الحاد (التهاب كبيبات الكلى)	التهاب ذاتى المناعة فى الكبيبات، غالبًا ما يحدث بعد عدوى بالمكورات العقدية. يؤدى إلى تدمير الكبيبات مما يسبب وجود دم فى البول، وبروتين فى البول، ووذمة، وانخفاض فى الترشيح الكبيبى، وارتفاع ضغط الدم. قد يتطور إلى التهاب كبيبات مزمن وفشل كلوى، لكن معظم الأفراد يتعافون من التهاب الكبيبات الحاد دون تأثير دائم.
الفشل الكلوى الحاد	انخفاض مفاجئ فى وظيفة الكلى، غالبًا بسبب تلف صادم فى النيفرونات أو فقدان تدفق الدم الناتج عن النزيف أو التخثر.
الفشل الكلوى المزمن	فقدان طويل الأمد، تدريجى، وغير قابل للعكس للنيفرونات؛ انظر التعمق 23.5 لأسباب متنوعة. يتطلب زراعة كلية أو غسيل دموى.
توسع الحوض الكلوى[34]	زيادة فى ضغط السوائل فى حوض الكلية والكؤوس بسبب انسداد الحالب بحصوات الكلى، أو هبوط الكلية، أو أسباب أخرى. يمكن أن يتطور إلى توقف كامل فى الترشيح الكبيبى وضمور النيفرونات.
هبوط الكلية[35] (NEFF-rop-TOE-sis) ("الكلية العائمة")	انزلاق الكلية إلى موضع منخفض بشكل غير طبيعى. يحدث لدى الأشخاص الذين لديهم دهون جسم قليلة جدًا لتثبيت الكلية فى مكانها، ولدى الأشخاص الذين يتعرضون لاهتزازات طويلة الأمد على الكليتين، مثل سائقى الشاحنات، وراكبى الخيل، وراكبى الدراجات النارية. يمكن أن يؤدى ذلك إلى التواء أو انحناء الحالب، مما يسبب الألم، ويعيق تدفق البول، وقد يؤدى إلى توسع الحوض الكلوى.
متلازمة الكلاء (النفروز)	إفراز كميات كبيرة من البروتين فى البول (≥3.5 جم/يوم) بسبب إصابة كبيبية. يمكن أن تنتج عن الصدمات، الأدوية، العدوى، السرطان، داء السكرى، الذئبة الحمامية الجهازية، وأمراض أخرى. يؤدى فقدان بروتين البلازما إلى وذمة، استسقاء، انخفاض ضغط الدم، وزيادة القابلية للعدوى (بسبب فقدان الغلوبولينات المناعية).
سلس البول	عدم القدرة على حبس البول؛ تسرب لا إرادى من المثانة. يمكن أن ينتج عن التقدم فى العمر؛ ضعف صمامات البول؛ تهيج المثانة؛ الضغط على المثانة أثناء الحمل؛ انسداد مخرج البول بحيث تظل المثانة ممتلئة باستمرار ويتسرب البول (سلس البول الناتج عن الفائض)؛ التبول غير المسيطر عليه بسبب زيادة مفاجئة فى ضغط المثانة، كما فى الضحك أو السعال (سلس البول الإجهادى)؛ واضطرابات عصبية مثل إصابات الحبل الشوكى.
يمكنك العثور على اضطرابات أخرى فى الجهاز البولى موصوفة فى الأماكن التالية:	
اليوريميا و الأزوتيميا فى القسم 23.1ب؛ وجود دم فى البول، وجود بروتين فى البول، وتصلب الكلية فى الأقسام 23.3أ، 23.3ب؛ وجود صديد فى البول، كثرة التبول، قلة التبول، وانعدام التبول فى القسم 23.6ب؛ حصى الكلى فى نظرة أعمق 23.2؛ عدوى المسالك البولية فى نظرة أعمق 23.3؛ و القصور الكلوى فى نظرة أعمق 23.5.	

وإثارة مستقبلات التمدد مبكرًا، مما يؤدى إلى بدء المنعكس. تساعد مناورة فالسالفا أيضًا فى تفريغ المثانة.

تُناقش تأثيرات الشيخوخة على الجهاز البولى فى الفصل 29. كما يتم وصف بعض اضطرابات هذا الجهاز بإيجاز فى الجدول 23.3.

فى الإناث، قد يكون المصرة الإحليلية الخارجية هى الآلية الوحيدة لاحتباس البول. لذلك يعتمد الاحتباس على قوة عضلات قاع الحوض الإرادية، والتى قد تتأثر بتاريخ الحمل أو السمنة. لذلك فإن سلس البول هو الأكثر شيوعًا لدى النساء اللاتى أنجبن، لكنه يحدث أيضًا لدى أخريات.

إذا نشأت الرغبة فى التبول فى وقت غير مناسب وكان يجب كبحها، فإن مستقبلات التمدد تتعب وتتوقف عن الإطلاق. ومع ذلك، مع زيادة توتر المثانة، تعود الإشارات بتردد واستمرارية متزايدين. وعلى العكس من ذلك، هناك أوقات لا تكون فيها المثانة ممتلئة بما يكفى لتحفيز منعكس التبول، لكن المرء يرغب فى "التبول" على أى حال بسبب رحلة طويلة أو محاضرة قادمة. فى هذه الحالة، يُستخدم مناورة فالسالفا (انظر القسم 22.2أ) لضغط المثانة

[34] hydro= ماء؛ nephr= كلية؛ osis = حالة طبية

[35] nephro = كلية؛ ptosis = تدلى، سقوط

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

21. وصف موقع ووظيفة العضلة الدافعة (الدتروسور).

22. قارن ووازن بين وظائف المصرة الإحليلية الداخلية والمصرة الإحليلية الخارجية.

23. فى الذكور، يقوم الجهاز العصبى الودى بتحفيز القذف وفى نفس الوقت يحفز انقباض المصرة الإحليلية الداخلية. ما الغرض من هذا الإجراء الأخير؟



DEEPER INSIGHT 23.5

التطبيق السريرى

القصور الكلوى والغسيل الكلوى

القصور الكلوى هو حالة لا تستطيع فيها الكلى الحفاظ على التوازن الداخلى بسبب تدمير واسع للنفرونات الخاصة بها. بعض أسباب تدمير النفرونات تشمل

- ارتفاع ضغط الدم؛
- التهابات الكلى المزمنة أو المتكررة؛
- الإصابات الناتجة عن أسباب مثل الضربات على أسفل الظهر أو الاهتزاز المستمر من الآلات؛
- نقص التروية والإقفار المطول، كما فى عدائى المسافات الطويلة والسباحين؛
- التسمم بالمعادن الثقيلة مثل الزئبق والرصاص والمذيبات مثل رباعى كلوريد الكربون والأسيتون ومخففات الطلاء. يتم امتصاص هذه المواد فى الدم من الأبخرة المستنشقة أو عن طريق ملامسة الجلد ثم يتم ترشيحها بواسطة الكبيبات. هذه المواد تقتل خلايا الأنابيب الكلوية.

يمكن إعطاء الأدوية عن طريق إضافتها إلى سائل الغسيل الكلوى بحيث تنتشر ع بر الغشاء إلى الدم. الأشخاص الذين يعانون من قص وظائف الكلى يتراكم لديهم كميات كبيرة من الماء الزائد بين الجلسات، ويعمل الغسيل الكلوى أيضًا على إزال ته. عادةً ما يُعطى المرضى إريثروبويتين (EPO) لتعويض نقص EPO الناتج عن ف شل الكلى.

عادةً ما يخضع مرضى الغسيل الكلوى الدموى لثلاث جلسات فى الأسبوع لمدة 4 إلى 8 ساعات لكل جلسة. بالإضافة إلى كونه مرهقًا، يحمل الغسيل الكلوى الدموى مخاطر العدوى وتجلط الدم. يميل الدم إلى التجلط عند التعرض لأسطح أجنبية، لذا يُضاف مضاد تخثر مثل الهيبارين أثناء الغسيل. لسوء الحظ، هذا يثبط التجلط فى جسم المريض أيضًا، وأحيانًا يعانى مرضى الغسيل من نزيف داخلى.

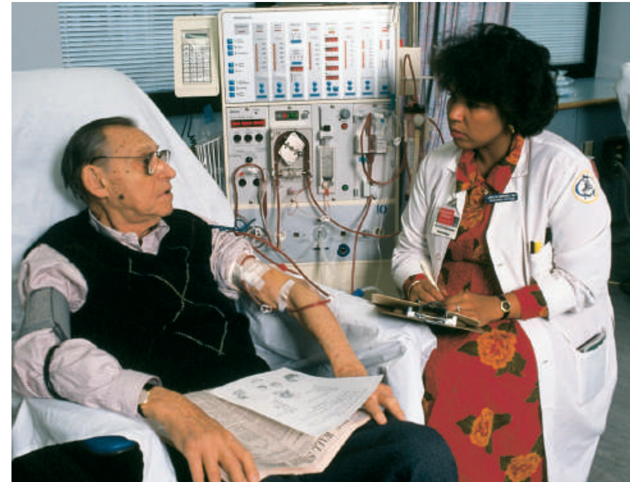
إجراء يُسمى الغسيل البريتونى المستمر المتنقل (CAPD) أكثر ملاءمة. يمكن للمريض القيام به فى المنزل، حيث يُزود بأكياس بلاستيكية من سائل الغسيل. يُد خل السائل إلى التجويف البطنى عبر قسطرة دائمة. هنا، يوفر الصفاق أكثر من 2 م^2 من غشاء شبه نفاذ غنى بالدم. يُترك السائل فى التجويف البطنى لمدة 15 إلى 60 دقيقة للسماح للدم بالتوازن معه؛ ثم يُصرف ويُتخلص منه ويُستبدل بسائل غ سيل جديد. لا يقيّد المريض بجهاز غسيل ثابت ويمكنه القيام بمعظم الأنشطة الط بيعية. CAPD أقل تكلفة ويعزز المعنويات أفضل من الغسيل الكلوى الدموى التق ليدى، لكنه أقل كفاءة فى إزالة النفايات وغالبًا ما يصاحبه مضاعفات عدوى.

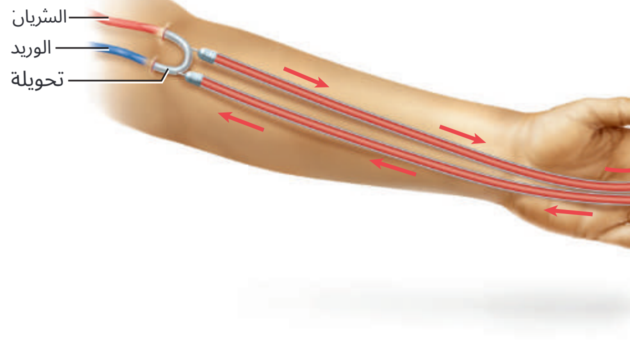
انسداد الأنابيب الكلوية ببروتينات صغيرة الحجم يمكن ترشيحها عبر الكبيبة — على سبيل المثال، الميوغلوبين الذى يفرز نتيجة تلف العضلات الهيكلية واله يموغلوبين الناتج عن رد فعل نقل الدم؛

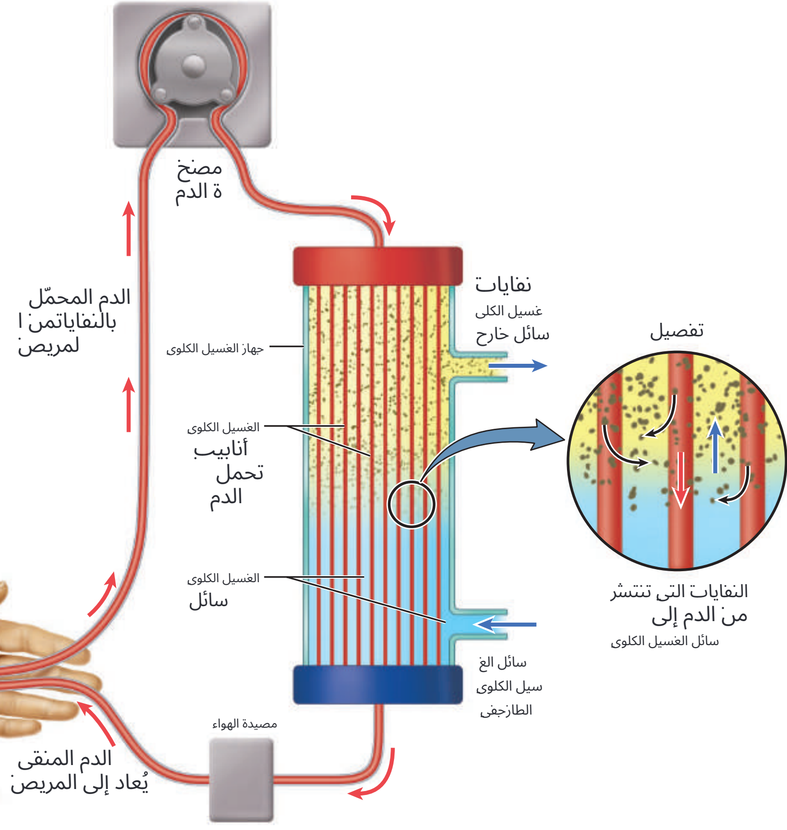
- تصلب الشرايين، الذى يقلل من تدفق الدم إلى الكلية؛ و
- التهاب كبيبات الكلى، وهو مرض مناعى ذاتى يصيب الشعيرات الدموية للكبيبات.

يمكن للنفرونات أن تتجدد وتستعيد وظيفة الكلية بعد الإصابات قصيرة الأمد. حتى عندما يتم تدمير بعض النفرونات بشكل لا رجعة فيه، فإن الأخرى تتضخم و تعوض عن الوظيفة المفقودة. فى الواقع، يمكن للإنسان أن يعيش على ثلث كلية واحدة فقط. ومع ذلك، عندما يفقد 75% من النفرونات، قد يكون إنتاج البول منخ فضًا إلى 30 مل/ساعة مقارنة بالمعدل الطبيعى الذى يتراوح بين 50 إلى 60 مل/ ساعة. هذا غير كافٍ للحفاظ على التوازن الداخلى ويرافقه ازوتيميا وحماضية. تتطو ر حالة اليوريميا عندما يكون هناك فقدان بنسبة 90% من وظيفة الكلى. كما أن ال قصور الكلوى يميل إلى التسبب فى فقر الدم لأن الكلى المريضة تنتج كمية قليلة جدًا من الإريثروبويتين (EPO)، الهرمون الذى يحفز تكوين خلايا الدم الحمراء.

الغسيل الكلوى هو إجراء لتنقية الفضلات من الدم بشكل صناعى عندما لا تقو م الكلى بذلك بشكل كافٍ (الشكل 23.26). يتم ضخ الدم من الشريان الكعبرى إلى جهاز الغسيل الكلوى (الكلى الصناعية) ويُعاد إلى المريض عبر وريد. فى جهاز الغ سيل الكلوى، يتدفق الدم عبر أنابيب غسيل كلوى نصف نافذة محاطة بسائل الغ سيل الكلوى. يوريا، بوتاسيوم، ومواد مذابة أخرى تكون أكثر تركيزًا فى الدم مقارنة بسائل الغسيل، تنتشر عبر الغشاء إلى السائل، الذى يتم التخلص منه. الجلوكوز، ا لكهارل، و







الشكل 23.26 الغسيل الكلوى الدموى. يتم ضخ الدم إلى حجرة الغسيل الكلوى، حيث يتدفق عبر أنابيب شعيرية من غشاء الغسيل الكلوى المحاط بسائل الغسيل الكلوى. يمر الدم الخارج من الحجرة عبر مصيدة هواء لإزالة الهواء قبل أن يُعاد إلى جسم المريض. يقوم السائل بجمع الماء الزائد والنفايات الأيضية من دم المريض وقد يحتوى على أدوية تنتشر إلى الدم.

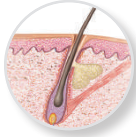
الصورة: هانك مورغان/Science Source

اتصالات النظام

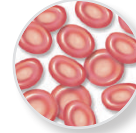


تأثيرات الجهاز البولى على أنظمة الأعضاء الأخرى

جميع الأنظمة
يقوم بإفراز الفضلات الأيضية لمنع تسمم الأنسجة؛ يحافظ على توازن السوائل والإلكتروليتات والحمض-القاعدة الضرورى للحفاظ على الاتزان الداخلى



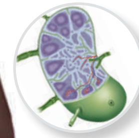
الجهاز الجلدى
الحفاظ على توازن السوائل بواسطة الكلى ضرورى لإفراز العرق الطبيعى.



الجهاز الدورى
تؤثر الكلى على ضغط الدم أكثر من أى عضو آخر باستثناء القلب، وتنظم تركيب الدم؛ يمكن أن يسبب خلل الكلى اختلالات فى الكهارل تؤثر على إيقاع القلب.



الجهاز الهيكلى
تكوين الكالسيتريول وأدوار أخرى للكلى فى ال حفاظ على توازن الكالسيو م والفوسفات ضرورية لتر سيب العظام الطبيعى وصيا نتها.



الجهاز اللمفاوى والمناعى
توفر حموضة البول مناعة فطرية ضد التهابات المسالك البولية؛ ى ثقل الفشل الكلوى الجهاز اللمفاوى من خلال خلق احتباس السوائل والوذم ة.



الجهاز العضلى
التحكم الكلوى فى تواز ن Na^+ وK^+ وCa^{2+} مهم لإثارة العضلات وانقباضه ا.



الجهاز التنفسى
إيقاع التنفس حساس للاختلالات الحمضية القاعدية التى قد تنتج عن خلل فى وظائف الكلى.



الجهاز العصبى
التحكم الكلوى فى توازن Na^+ وK^+ وCa^{2+} مهم لتوليد الإشارات الع صبية، ونقلها، والنقل المش بكى.



الجهاز الهضمى
تقوم الكلى بإفراز السموم التى تم امتصاصها من الأمعاء؛ وتفرز الكلى المستقلبات التى ينتجها الكبد؛ الكالسيتريول الذى تفرزه الكلى يحفز امتصاص الكالسيوم من الأمعاء الدقيقة.



الجهاز الصمائى
تفرز الكلى الإريثروبويتين، وتبدأ تخليق الأنجيوتنسين II، وتحفز بشكل غير مباشر إفراز الألدوستيرون، وتزيل الهرمونات ومستقلباتها من الجسم.



الجهاز التناسلى
الإحليل الذكرى يعمل كممر مشترك للبول والسائل المنوى؛ الجهاز البولى للأم يفرز نفايات الجنين.

دليل الدراسة

قيّم نتائج تعلمك

لاختبار معرفتك، ناقش المواضيع التالية مع شريك دراسي أو كتابةً، ويفضل من الذاكرة.

23.1 وظائف الجهاز البولي

1. الأعضاء الستة الرئيسية للجهاز البولي
2. ست وظائف أو أكثر للكليتين
3. أربعة نفايات نيتروجينية رئيسية ومصادرها الأيضيةكيف تختلف النفايات الأيضية عن النفايات الأخرى
4. نيتروجين يوريا الدم، الأزوتيميا، واليوريميا، والتأثيرات المرضية لليوريميا
5. معنى *الإفراز* وأربعة أجهزة جسمية بشرية تقوم به

٢.٣٢ تشريح الكلية

1. موقع الكليتين بالنسبة للأنسجة والأعضاء المجاورة
2. الهياكل التي تدخل وتخرج من الكلية عبر الهيلوم
3. ثلاث طبقات من الأنسجة تحيط بالكلية وتغلفها
4. ترتيب النسيج الكلوي حول الجيب الكلوي؛ تنظيم القشرة، النخاع، والأهرامات الكلوية
5. العلاقة بين الهرم الكلوي والكأس الصغير، وبين الكؤوس الصغيرة والكؤوس الكبيرة والحوض الكلوي والحالب
6. المصطلح المستخدم للوحدات الوظيفية المجهرية للكلية، وعددها التقريبي في كل كلية
7. تدفق الدم من الشريان الكلوي عبر الكلى إلى الوريد الكلوي، بما في ذلك الدوران عبر كل من القشرة والنخاع
8. هيكل الجسم الكلوي
9. تدفق السائل من النقطة التي يتم فيها ترشيحه من الدم إلى النقطة التي يغادر فيها الكلى؛ تلك الأجزاء من النيبب الكلوي التي تنتمي إلى نيفرون واحد والجزء الذي يشترك فيه عدة نيفرونات
10. التمييز بين الترشيح الكبيبي، السائل النيبيي، والبول بالنسبة لتقدم السائل عبر النيبب الكلوي
11. الاختلافات في الهيكل والوظيفة بين النيفرونات القشرية والنيفرونات المجاورة للنخاع
12. تعصيب الكلية وتأثيران للتحفيز الودي على وظيفة الكلى

23.3 تكوين البول الأول: الترشيح الكبيبى

1. المراحل الأساسية الأربعة لتكوين البول
2. هيكل غشاء الترشيح الكبيبي؛ أدوار مسام الشعيرات الدموية، الغشاء القاعدي، وشقوق الترشيح في إنتاج الراشح الكبيبي؛ الفرق بين الراشح وبلازما الدم
3. تعريفات البروتينوريا (البيلة البروتينية) والهماتوريا (البيلة الدموية)، وأسبابهما
4. قوى ترشيح الشعيرات الدموية التي تفسر ضغط الترشيح الصافي (NFP) في الكبيبة؛ مقدار كل منها ومقدار ضغط الترشيح الصافي
5. كيفية حساب معدل الترشيح الكبيبي (GFR) من ضغط الترشيح الصافي ومعامل الترشيح؛ القيم النموذجية لمعدل الترشيح الكبيبي
6. معنى التنظيم الذاتي الكلوي
7. كيفية عمل الآلية العضلية (الميوجينية) للتنظيم الذاتي الكلوي
8. هيكل ووظيفة الجهاز الكبيبي المجاور (juxtaglomerular apparatus) وكيفية عمل التغذية الراجعة الأنبوبية الكبيبية التغذية الراجعة
9. كيف ينظم الجهاز العصبي الودي معدل الترشيح الكبيبي (GFR)
10. آلية الرينين-أنجيوتنسين-ألدوستيرون في تنظيم معدل الترشيح الكبيبي (GFR)؛ التأثيرات المتعددة لأنجيوتنسين II على الكلية وبقية الجسم
11. تأثيرات هرمون مضاد الإدرار (ADH) والألدوستيرون على الكلية وكيف يقللان من فقدان الماء من الجسم

23.4 تكوين البول II: إعادة الامتصاص والإفراز الأنبوبي

1. نسبة الترشيح الكبيبي التي تُطرح كبول، ونسبة الماء في الترشيح التي يُعاد امتصاصها بواسطة النيبب القريب (PCT) وحلقة النيبب
2. المسارات الخلوية وما بين الخلوية لإعادة الامتصاص، ودور السحب بالمذيب (solvent drag)
3. كيف يعيد النيبب القريب (PCT) امتصاص NaCl، والكهارل الأخرى، والجلوكوز، واليوريا، والماء؛ ولماذا يعتمد امتصاص الماء والمواد المذابة بشكل مباشر أو غير مباشر على ناقل الصوديوم-الجلوكوز (SGLT) وامتصاص الصوديوم
4. كيف يقتصر إعادة الامتصاص الأنبوبي على الحد الأقصى للنقل (Tm)؛ وكيف يرتبط ذلك بوجود الجلوكوز في البول (glycosuria) في داء السكري

5. المواد التي تُضاف إلى السائل الأنبوبي عن طريق الإفراز الأنبوبي في النيبب القريب (PCT)
6. الوظائف الأساسية لحلقة النيبب (nephron loop) والنيبب القاصي (DCT)، وما يعاد امتصاصه فيهما
7. تأثيرات الألدوستيرون، والببتيدات المدرّة للصوديوم، وهرمون الغدة الجار درقية، والكالسيتونين، والكالسيتريول على وظيفة النيبب

23.5 تكوين البول III: حفظ الماء

1. وظيفة القناة الجامعة (CD) ونطاق أوزمولارية البول التي يمكن أن تنتجها
2. كيف يعمل التدرج الأسموزي للنخاع الكلوي والنفاذية الانتقائية للقناة الجامعة (CD) على تركيز البول
3. تأثير هرمون مضاد الإدرار (ADH) على القناة الجامعة ودور الأكوابورينات في هذا التأثير
4. وظيفة المضاعف المتعاكس وكيف يؤدي هذا الدور
5. وظيفة المبادل المتعاكس وكيف يؤدي هذا الدور

23.6 اختبارات البول ووظائف الكلى

1. لماذا يكون لون البول أصفر؛ ولماذا يختلف ظل الأصفر؛ وبعض أسباب الألوان الأخرى غير المعتادة
2. النطاقات الطبيعية لكثافة البول النوعية، الأوزمولارية، ودرجة الحموضة (pH)
3. الروائح الطبيعية وغير الطبيعية للبول وبعض أسباب الأخيرة
4. أكثر ثلاثة مواد مذابة وفرة في البول، وبعض أسباب وجود مواد مذابة أخرى غير معتادة
5. الإنتاج اليومي النموذجي للبول، والمصطلحات الخاصة بالإنتاج المنخفض والمرتفع بشكل غير طبيعي
6. العلامة المميزة لمرض السكري بشكل عام؛ أربعة أشكال من مرض السكري وأسبابها
7. التأثير العام للمدرات البولية؛ آليات عمل المدرات البولية للكافيين والكحول ومدرات البول الحلقة
8. طرق قياس معدل الترشيح الكبيبي (GFR) والتصفية الكلوية؛ القدرة على حسابها إذا توفرت البيانات اللازمة

23.7 تخزين البول وإفراغه

1. مسار وآلية نقل البول من الكلية إلى المثانة البولية؛ التشريح والنسيجية للحالبين وعلاقتهما بالمثانة

دليل الدراسة

6. آليات التحكم فى التبول بواسطة جذع الدماغ والمخ

4. تشريح الإحليل الذكرى، أجزاؤه الثلاثة، والحلقتان الإحليليتان الداخلية والخارجية

5. آلية منعكس التبول الشوكى والتشريح العصبى المتعلق به

2. تشريح ونسج المثانة البولية؛ العضلة الدافعة)الدتروسور(، الطهارة المخاطية، الطيات)الرغا(، والمنطقة المثلثية)التريغون(

3. تشريح الإحليل الأنثوى والحلقة الإحليلية الخارجية

الإجابات فى الملحق أ

اختبار استرجاعك

1. يحدث التبول عندما ______ ينقبض.
أ. المثانة
ب. العضلة العاصرة الإحليلية الداخلية
ج. العضلة العاصرة الإحليلية الخارجية
د. العضلة فى الحالب
هـ. كل ما سبق

2. الكرة المدمجة من الشعيرات الدموية فى النفرون تسمى
أ. حلقة النفرون.
ب. الضفيرة حول الأنابيب.
ج. الجسم الكلوى.
د. الكبيبة.
هـ. الأوعية المستقيمة.

3. أى من هذه الفضلات النيتروجينية هو الأكثر وفرة فى الدم؟
أ. حمض اليوريك
ب. اليوريا
ج. الأمونيا
د. الكرياتينين
هـ. الألبومين

4. أى من هذه تقع الأقرب إلى قشرة الكلى؟
أ. الصفاق الجدارى
ب. اللفافة الكلوية
ج. الكبسولة الليفية
د. كبسولة الدهون حول الكلية
هـ. حوض الكلية

5. يُعاد امتصاص معظم الصوديوم من الترشيح الكبيبى بواسطة
أ. الأوعية المستقيمة.
ب. الأنبوب الملتوى القريب.
ج. الأنبوب الملتوى البعيد.
د. حلقة النفرون.
هـ. القناة الجامعة.

6. يشكل الكبيبة وكبسولة كبيبية واحدًا
أ. الكبسولة الكلوية.
ب. الجسم الكلوى.
ج. فصيصة الكلية.
د. فص الكلية.
هـ. النيفرون.

7. تمتلك الكلية أكثر ______ من أى من الهياكل الأخرى المذكورة.
أ. الشرايين القوسية
ب. الكؤوس الصغيرة
ج. الأهرامات النخاعية
د. الشرايين الصغيرة الموصلة
هـ. القنوات الجامعة

8. عادة ما يكون ______ التطهير الكلوى لـ صفرًا.
أ. الصوديوم
ب. البوتاسيوم
ج. حمض اليوريك
د. اليوريا
هـ. الأحماض الأمينية

9. القنادس لديها حاجة قليلة نسبيًا للحفاظ على الماء وبالتالى يمكن توقع أن يكون لديها ______ أقل من البشر.
أ. عدد أقل من النفرونات
ب. حلقات نفرونية أطول
ج. حلقات النفرون الأقصر
د. القنوات الجامعة الأطول
هـ. الأنابيب الملفوفة الأطول

10. زيادة إفراز هرمون ADH يجب أن تجعل البول يحتوى على
أ. كثافة نوعية أعلى.
ب. لون أفتح.
ج. درجة حموضة أعلى.
د. تركيز أقل من اليوريا.
هـ. تركيز أقل من البوتاسيوم.

11. الانعكاس هو انعكاس تلقائى ______ ال يتم تنشيطه بواسطة الضغط فى المثانة البولية.

12. هى قدرة النفرون على تعديل معدل الترشيح الكبيبى)GFR(الخاص به بشكل مستقل عن التأثيرات العصبية أو الهرمونية. ______

13. يشكل الحالبان والإحليل حدود منطقة ناعمة تسمى على أرضية المثانة البولية. ______

14. هى مجموعة من الخلايا الطهارية لـ ______ ال حلقة النفرون التى تراقب تركيب السائل الأنبوبى.

15. لدخول الفراغ الكبسولى، يجب أن يمر الترشيح بين العمليات القدمية لـ ______ الخلايا التى تشكل الطبقة الحشوية لكبسولة الكبيبة.

16. يحدث الجلوكوزوريا إذا تجاوز معدل ترشيح الجلوكوز فى الكبيبة ______ من الأنبوب الملتوى القريب.

17. هو هرمون ينظم كمية الماء ______ التى يتم إعادة امتصاصها بواسطة القناة الجامعة.

18. عضلة المصرة عند الذكر تكون تحت ______ ال التحكم اللاإرادى ويسترخى أثناء انعكاس التبول.

19. يوجد فى الكبيبة ______ قليل جدًا المرشح لأنه مشحون سلبًا ويتم دفعه بعيدًا عن الغشاء القاعدى للكبيبة.

20. يتدفق الدم عبر ______ الشرايين فقط قبل الدخول إلى الشرايين الإشعاعية القشرية.

دليل الدراسة

بناء مفرداتك الطبية

الإجابات فى الملحق أ

اذكر معنى كل عنصر من عناصر الكلمة، وقدم مصطلحًا طبيًا من هذا الفصل يستخدمه أو يستخدم نسخة طفيفة منه.

1. أزو تو-
2. سيستو-
3. غلومير-
4. جوكستا-
5. ميسو-
6. نيفرو-
7. بودو-
8. -بتوسيس
9. بييلو-
10. ريكتو-

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

الإجابات فى الملحق أ

اشرح بإيجاز لماذا كل من العبارات التالية خاطئة، أو أعد صياغتها لتصبح صحيحة.

1. الأنبوب الملفوف القريب لا يخضع لتأثير هرمونى.
2. الصوديوم هو أكثر المذابوفرة فى البول.
3. قنوات التجميع تفوق عدد الكبيبات الكلوية فى الكلية.
4. تمنع الوصلات المحكمة تسرب المواد بين خلايا الطهارة فى الأنبوب الكلوى.
5. جميع أشكال مرض السكرى تتميز بوجود الجلوكوز فى البول.
6. إذا بقيت جميع الظروف الأخرى كما هى، فإن توسع الشريان الخارج يرفع معدل الترشيح الكبيبى.
7. الأنجيوتنسين II يعزز إخراج البول.
8. الحد الأدنى لتركيز البول الأسموزى هو 300 مللى أوسمول/لتر، وهو يساوى تركيز الدم الأسموزى.
9. كمية الجلوكوز فى البول تتناسب طردياً مع كمية الصوديوم.
10. التبول يعتمد على استرخاء عضلة الديترسور.

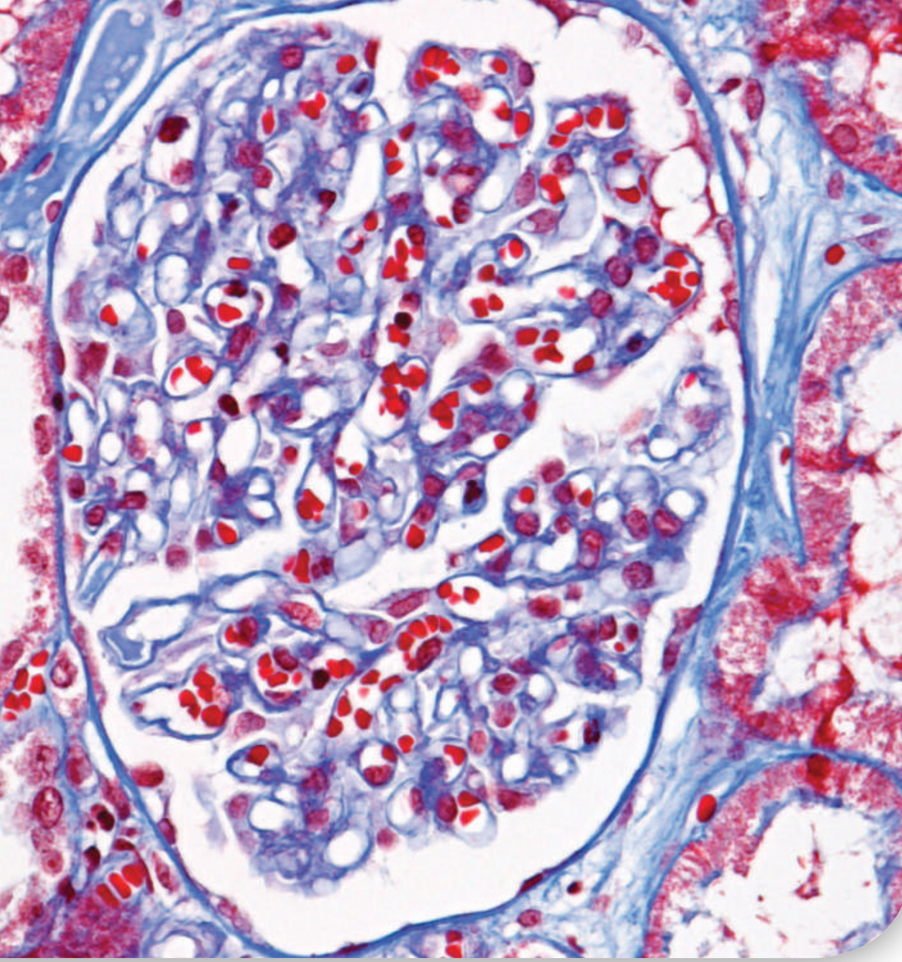
اختبار فهمك

1. كيف سيتأثر معدل الترشيح الكبيبى بمرض الكواشيوركور)انظر التعمق 18.1(؟
2. ينتج المريض ٥٥ مل من البول فى الساعة. تركيز اليوريا فى بلازما دمها هو 0.25 ملغم/مل وفى بولها 8.6 ملغم/مل.)أ(ما هو معدل تصفية الكلى لديها لليوريا؟)ب(حوالى 95٪ من البالغين يفرزون اليوريا بمعدل يتراوح بين 12.6 إلى 28.6 جرام/يوم. هل هذه المريضة هل هو أعلاه، ضمنه، أم دونه؟ أظهر كيف حسبت إجاباتك.
3. تم علاج مريض يعانى من ضعف التروية الكلوية بمثبط ACE وتعرض لفشل كلوى. اشرح سبب الفشل الكلوى.
4. تُستخدم الأدوية المسماة *مثبطات الرينين* لعلاج ارتفاع ضغط الدم. اشرح كيف يكون لها هذا التأثير.
5. ناقش كيف يتجلى اتحاد الشكل والوظيفة فى كل من المقارنات التالية:)أ(القطاعات الرقيقة والسميكة من حلقة النفرون؛)ب(الأنابيب الملتوية القريبة والبعيدة؛ و)ج(الشرايين الواردة والصادرة.

الفصل

24

السائل،
توازن الإلكترولي
تاتوالحموصة-القاع
دية



يبدأ توازن الماء في الكبيبات الكلوية مثل تلك الموضحة هنا

خوسيه لويس كالفو/Shutterstock

رؤى أعمق

24.1 التطبيق السريري: توازن السوائل في الطقس البارد

24.2 التطبيق السريري: علاج استبدال السوائل

مخطط الفصل

Anatomy & Physiology Revealed 4.0
Module 13: Urinary System

نولد فى حالة رطبة إلى حد ما، بعد أن ابتلعنا، وأفرزنا، وعشنا فى السا ئل الأمنيوسى لعدة أشهر. عند الولادة، يكون وزن الطفل حوالى ٧٥٪ م اء؛ وعادةً ما يفقد الرضع بعض الوزن فى اليوم أو اليومين الأولين أثناء إخراجهم للزائد. محتوى إجمالى ماء الجسم)TBW(لدى البالغين الش باب العاديين حوالى ٦٠٪ من وزن الجسم لدى الرجال و٥٠٪ لدى الن ساء. يكون متوسط النساء أقل لأن لديهن نسيج دهنى أكثر، والذى يح ل محل الماء. الأشخاص البدينون وكبار السن لديهم نسبة ماء تصل إ لى ٤٥٪ فقط من وزنهم. إجمالى ماء الجسم لشخص بالغ متوسط الوز ن ٧٠ كجم)١٥٠ رطل(هو حوالى ٤٢ لتر.

٢٤.١أ مقصورات السوائل

يتم توزيع ماء الجسم بين مقصورات سائلة معينة، وهى مناطق مف صولة بأغشية نفاذة انتقائية وتختلف عن بعضها البعض فى التركيب الكيميائى. المقصورات السائلة الرئيسية هى

٦٥٪ السائل داخل الخلايا)ICF(و

٣٥٪ السائل خارج الخلايا)ECF(. وينقسم السائل خارج الخلايا إلى

٢٥٪ سائل الأنسجة)الوسيط(،

٨٪ بلازما الدم و اللمف، و٢٪ السا

ئل عبر الخلايا، وهى فئة شاملة لـالسائل الدماغى الشوكى، السائل الزليلى، السائل البريتونى، الجن بى، والتامورى؛ السوائل الزجاجية والمائية للعين؛ ال صفراء؛ والسوائل فى الجهاز الهضمى، البولى، والجهاز التنفسى.

يتم تبادل السوائل باستمرار بين الحُجَر عبر جدران الشعيرات الدمو ية وأغشية البلازما)الشكل 24.1(. تتحرك المياه عن طريق التناضح من الجهاز الهضمى إلى مجرى الدم وعن طريق ترشيح الشعيرات الدموية م ن الدم إلى سائل الأنسجة. من سائل الأنسجة، قد يتم إعادة امتصاصها بواسطة الشعيرات الدموية، أو امتصاصها تناضحيًا إلى الخلايا، أو يتم ا لتقاطها بواسطة الجهاز اللمفاوى، الذى يعيدها إلى مجرى الدم.
نظرًا لأن الماء يتحرك بسهولة عبر أغشية البلازما، فإن التدرجات التناضحية بين السائل داخل الخلايا)ICF(والسائل خارج الخلايا)ECF(لا تدوم لفترة طويلة. إذا نشأ خلل محلى، عادةً ما يعيد التناضح التواز ن خلال ثوانٍ بحيث تتساوى الأسمولارية داخل الخلايا وخارجها. إذا ار تفعت أسمولارية سائل الأنسجة، يتحرك الماء خارج الخلايا؛ وإذا انخ فضت، يتحرك الماء إلى داخل الخلايا.
يحدد التناضح من حجرة سائلة إلى أخرى تركيز المذاب النسبى فى كل حجرة.
جزيئات المذاب الأكثر وفرة بفارق كبير هى الإلكتروليتات—وخاصة أملاح ال صوديوم فى السائل خارج الخلايا وأملاح البوتاسيوم فى السائل داخل الخلايا. تلعب الإلكتروليتات الدور الرئيسى فى تنظيم توزيع الماء فى الجسم و المحتوى الكلى للماء؛ لذلك فإن موضوعات توازن السوائل والإلكترول يتات لا تنفصل عن بعضها.

24.1ب كسب وفقدان الماء

يكون الشخص فى حالة توازن السوائل عندما تكون المكاسب والخ سائر اليومية متساوية وتوزع السوائل بشكل صحيح فى الجسم. عادةً ما نكسب ونفقد حوالى 2500 مل/يوم)الشكل 24.2(. تأتى المكاس ب من مصدرين. أحدهما هو الماء الأيضى)حوالى 200 مل/يوم(، الذ ى يُنتج كنتيجة ثانوية لتفاعلات التخليق اللا مائى والتنفس الهوائى:



$$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \longrightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O.$$

مراجعة

- لفهم توازن السوائل والإلكتروليتات والحمض-قاعدة على التوالى ، يجب أن تكون على دراية بالأسمولارية)انظر القسم 3.3د(، وا لإلكتروليتات)انظر القسم 2.1د(، ودرجة الحموضة pH)انظر الق سم 2.2ح(.
- تدفق المادة عبر التدرجات الأسموزية والتركيزية و الكهربائية الكيميائية مهم فى عدة عمليات فى هذا الفصل)انظر القسم 1.6e(.
- يجب أن تكون على دراية بدور الإلكتروليتات فى جهود الغشاء الخلوى لفهم تأثيرات اختلال توازن الإلكتروليتات على وظ فة الأعصاب والعضلات)انظر القسم 12.4a(.
- تعبر تراكيز الإلكتروليتات بوحدة الميلى مكافئ لكل لتر)mEq/L(، وهى وحدة قياس موضحة فى الملحق ب.
- تأثيرات إيقاع التنفس على ضغط ثانى أكسيد الكربون فى الدم Pco 2والرقم الهيدروجينى، وبالعكس، تأثيرات هذه المتغيرات على التن فس، هى مركزية لفهم توازن الحمض والقاعدة)انظر القسم 22.3g(.
- معرفة جيدة بوظيفة النفرون ضرورية لفهم دور الكلى فى توازن السوائل والإلكتروليتات والحمض والقاعدة)انظر الأقسام 23.3–23.5).

تتطلب الوظيفة الخلوية وسطًا سائلاً ذو تركيبة مضبوطة بعناية. إذا تغيرت كمية أو أسمولارية أو تركيز الإلكتروليتات أو الرقم الهيدروجين ى لهذا الوسط، فقد تنشأ اضطرابات تهدد الحياة فى وظيفة الخلايا. لذلك، يمتلك الجسم عدة آليات للحفاظ على هذه المتغيرات ضمن حدود ضيقة و للحفاظ على ثلاثة أنواع من الاستقرار التوازنى:

توازن السوائل، الإلكتروليتات، والحمض والقاعدة.
يتم الحفاظ على هذه التوازنات من خلال العمل الجماعى لأجهزة الإخرا ج البولى، التنفسى، الهضمى، الجلدى، الغدد الصماء، العصبى، القلبى الوعا ئى، والجهاز اللمفاوى. يصف هذا الفصل تنظيم التوازن التناسقى للسوائل، الإلكتروليتات، والحمض والقاعدة ويُظهر العلاقة الوثيقة بين هذه المتغيرا ت. هذه التوازنات مهمة جدًا لدرجة أن العلاج بالسوائل، الذى يهدف إلى ا ستعادة واحد أو أكثر منها، غالبًا ما يكون جانبًا حاسمًا فى رعاية المرضى. كم ا تنشأ مشاكل توازن السوائل والإلكتروليتات بشكل متكرر فى الطب الريا ضى والترفيهى، فى مواقف تتراوح من تدريب كرة القدم الصيفى إلى التنز ه فى المناطق النائية.

24.1 توازن السوائل

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادراً على

أ. سمِّ الحُجَر السائلة الرئيسية وشرح كيف ينتقل الماء من واحدة إلى أخرى؛

ب. عدد مصادر الماء فى الجسم وطرق فقدان الماء؛

ج. وصف آليات تنظيم تناول الماء و الإخراج؛ و

د. وصف بعض الحالات التى يعانى فيها الجسم من نقص أو فائض فى الماء أو توزيع غير صحيح للماء بين الحُجَر السائلة.

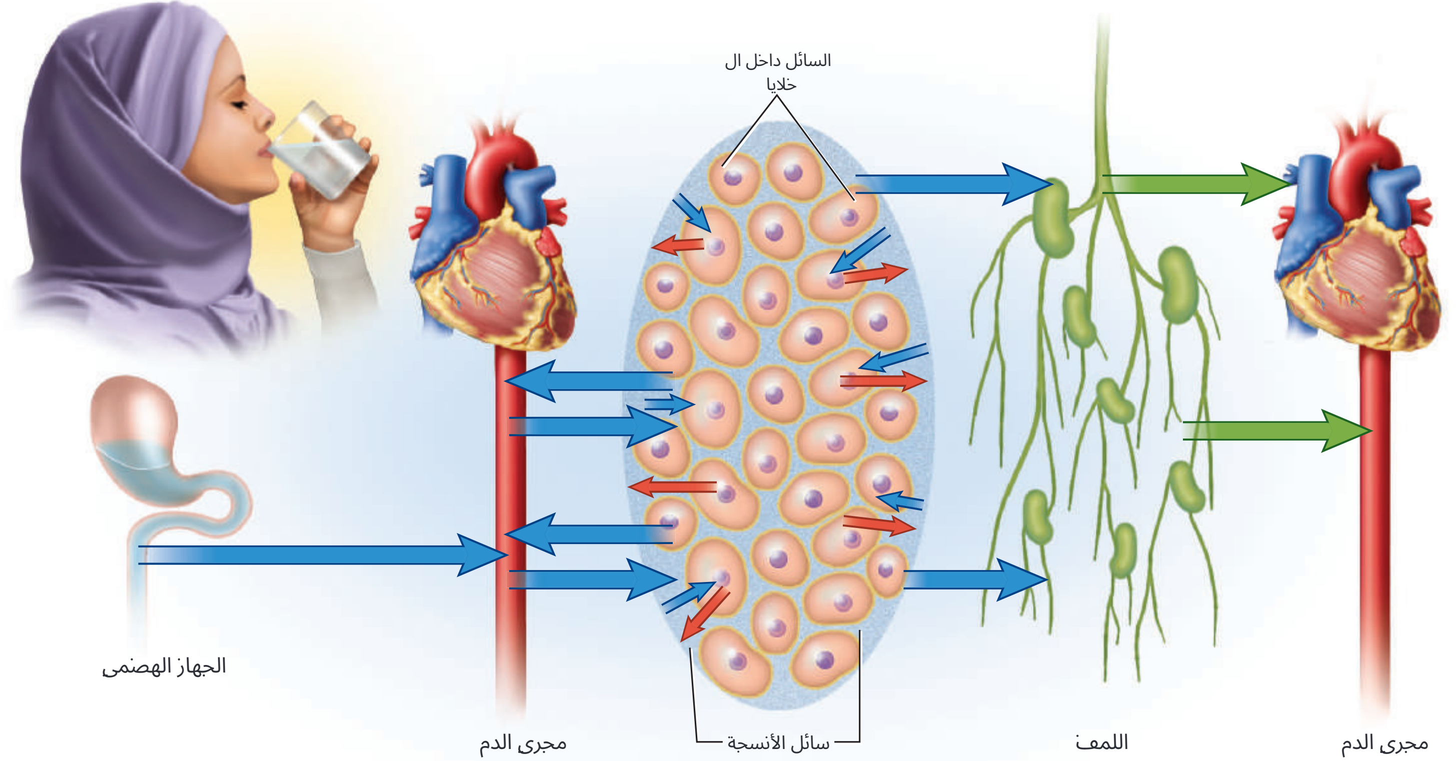


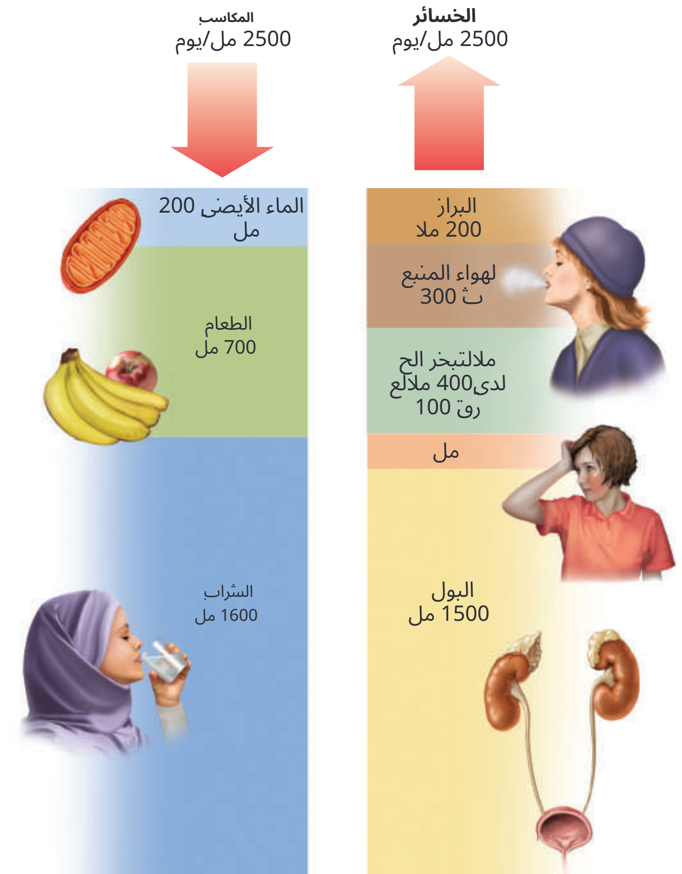
FIGURE 24.1 The Movement of Water Between the Major Fluid Compartments. Ingested water is absorbed by the bloodstream. There is a two-way exchange of water between the blood and tissue fluid and between the tissue fluid and intracellular fluids. Excess tissue fluid is picked up by the lymphoid system, which returns it to the bloodstream.

? *In which of these compartments would fluid accumulate in edema?*

المصدر الآخر هو الماء المتكون مسبقًا، الذى يُستهلك فى الطعام)700 مل/يوم(والشراب)1600 مل/يوم(.
طرق فقدان الماء أكثر تنوعًا:

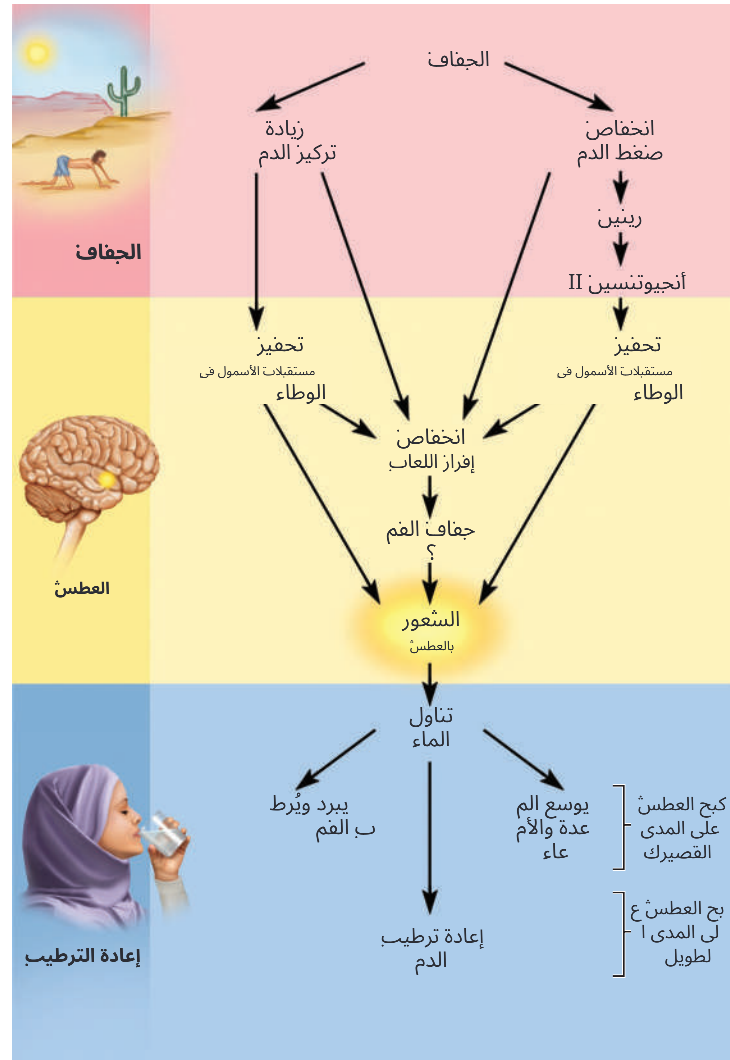
- يتم إفراز 1500 مل/يوم كبول.
- يتم التخلص من 200 مل/يوم فى البراز.
- يُفقد 300 مل/يوم فى النفس الزفير. يمكنك بسهولة تصور ذلك عن طريق التنفس على سطح بارد مثل مرآة.
- يُفرز 100 مل/يوم من العرق بواسطة شخص بالغ فى حالة راحة عند درجة حرارة الهواء المحيط 20 درجة مئوية)68 درجة فهرنهايت(.
- يُفقد 400 مل/يوم كـ النتح الجلدى،[1] وهو الماء الذى ينتشر عبر البشرة ويتبخر. هذا ليس نفس العرق؛ فهو ليس إفرازًا غديًا. طريقة بسيطة لملاحظته هى أن تجمع راحة يدك لمدة دقيقة \ ضد سطح بارد غير مسامى مثل طاولة مختبر أو مرآة. عندما تر فع يدك، ستلاحظ الماء الذى نَتَح عبر الجلد وتكثف على ذلك السطح، حتى فى الأماكن التى لم تكن على اتصال بجلدك.

تختلف خسارة الماء بشكل كبير مع النشاط البدنى والظروف البى ئية. تزداد خسارة التنفس فى الطقس البارد، على سبيل المثال، لأن ا لهواء البارد أكثر جفافًا ويمتص



الشكل 24.2 المكاسب والخسائر اليومية النموذجية للماء فى حالة توازن السوائل.

[1] trans= عبر؛ spiration= التنفس



الشكل 24.3 الجفاف، العطش، وإعادة الترطيب. انظر النص المتعلق بعدم اليقين حول مساهمة جفاف الفم فى الشعور بالعطش.

المزيد من ماء الجسم من الجهاز التنفسى. الطقس الحار والرطب يقلل قليلاً من فقدان الماء عن طريق التنفس لكنه يزيد من التعرق إلى ما يصل إلى 1200 مل/يوم. العمل الشاق والمطول يمكن أن يرفع فقدان الماء عن طريق التنفس إلى 650 مل/يوم والتعرق إلى ما يصل إلى 5 لترات/يوم، رغم أنه يقلل من إخراج

البول بنسبة تقارب الثلثين.

الإخراج عبر التنفس والنتح الجلدى يُسمى فقدان الماء غير المح سوس لأننا عادة لا نشعر به. فقدان الماء المحسوس هو الإخراج الملح وظ، خصوصاً عبر البول وفى حالة التعرق الكافى لإحداث رطوبة واضح ة على الجلد. فقدان الماء الإلزامى هو الإخراج الذى لا يمكن تجنبه نس بياً: الهواء المنبعث، النتح الجلدى، العرق، رطوبة البراز، والحد الأدنى م ن إخراج البول، حوالى 400 مل/يوم، اللازم لمنع تسمم النيتروجين (az otemia). حتى الأفراد الجفاف لا يمكنهم منع مثل هذه ا لخسائر؛ وبالتالى، يصبحون أكثر جفافاً.

24.1ح تنظيم المدخول

يُحكم تناول السوائل بشكل رئيسى بالعطش، الذى يتحكم فيه الآليات الموضحة فى الشكل 24.3. يقلل الجفاف من حجم الدم وضغطه وير فع أسمولارية الدم. يحتوى الوطاء على ثلاث مجموعات على الأقل من الخلايا العصبية تسمى مستقبلات الأسمولية التى تستجيب لأنجيو تنسين II وارتفاع أسمولارية السائل خارج الخلية — وكلاهما علامة ع لى وجود نقص فى الماء بالجسم.
تتواصل مستقبلات الأسمولية مع خلايا عصبية أخرى فى الوطاء تُنتج هرمون مضاد لإدرار البول (ADH)، مما يعزز حفظ الماء؛ كما تتواصل مع قشرة المخ لإنتاج شعور واعٍ بالعطش. زيادة بسيطة بنسبة 2% إلى 3% فى أسمولارية البلازما تجعل الشخص يشعر بعطش شديد، وكذ لك فقدان 10% إلى 15% من الدم.

عندما نشعر بالعطش، يقل إفراز اللعاب. هناك سببان لذلك: (1) استجابة مستقبلات الأسمولية تؤدى إلى إخراج تعاطفى من الوطاء ى ثبط الغدد اللعابية. (2) يُنتج اللعاب أساساً عن طريق ترشيح الشعيرا ت الدموية، لكن فى الشخص الجاف، يعارض ذلك انخفاض ضغط ال دم الشعيرى وارتفاع أسمولارية الدم.

انخفاض إفراز اللعاب يسبب جفافاً وإحساساً لزجاً فى الفم ورغبة فى ا لشرب، لكن ليس من المؤكد أن هذا هو الدافع الأساسى للشرب. بع ض الأشخاص لا يفرزون اللعاب، ومع ذلك لا يشربون أكثر من الأشخا ص العاديين إلا عند الأكل، حين يحتاجون الماء لترطيب الطعام. الأمر نفسه ينطبق على الحيوانات التجريبية التى تم ربط قنوات اللعاب لد يها.

الإشباع طويل الأمد للعطش يعتمد على امتصاص الماء من الأم عاء الدقيقة وخفض أسمولارية الدم. انخفاض الأسمولارية يوقف اس تجابة مستقبلات الأسمولية، ويعزز ترشيح الشعيرات الدموية، ويجعل اللعاب أكثر وفرة ومائية. مع ذلك، تستغرق هذه التغيرات 30 دقيقة أ و أكثر لتظهر، وسيكون من غير العملى أن نشرب طوال هذا الوقت و نحن ننتظر الشعور بالارتواء. سيكون تناول الماء مفرطاً للغاية، وربما م ميتاً.

لحسن الحظ، هناك آليات تعمل بشكل أسرع لإخماد العطش مؤقتاً و تسمح بوقت لحدوث التغير فى أسمولارية الدم.

أجريت تجارب على الفئران والكلاب لعزل المحفزات التى تُطفئ ا لعطش.واحد من هذه المحفزات هو تبريد وترطيب الفم؛ حيث تشر ب الفئران كمية أقل إذا كان الماء باردًا مقارنة بالماء الدافئ، وترطيب الفم ببساطة يُشبع الحيوان مؤقتًا حتى لو تم تصريف الماء من المرىء قبل أن يصل إلى المعدة.تمدد المعدة والأمعاء الدقيقة هو مثبط آخر للعطش.إذا سُمح لكلب بالشرب بينما يتم تصريف الماء من مريئه و لكن معدته منتفخة بواسطة بالون، فإن عطشه يُشبع لفترة من الوقت .إذا تم تصريف الماء ولم تُنتفخ المعدة، فإن الإشباع لا يدوم طويلاً.الم حفزات سريعة التأثير مثل البرودة، الرطوبة، وامتلاء المعدة توقف الح يوان (ومن المفترض الإنسان) عن شرب كمية مفرطة من السوائل، ل كنها فعالة فقط لمدة 30 إلى 45 دقيقة.إذا لم يتبع ذلك امتصاص الما ء فى مجرى الدم قريبًا،

العطشُ يعود سريعًا. فقط انخفاضٌ فى أسمولارية الدم يُحدثُ تأثيرًا دائمًا.

24.1د تنظيم الإخراج

الطريقة الوحيدة للتحكم بشكل كبير فى إخراج الماء هى منْ خلال التغيرات فى حجم البول. يجبُ أنْ يُدرك، مع ذلك، أنْ الكليتينْ لا يمكنهما منع فقدان الماء تمامًا، ولا يمكنهما تعويض الماء أو الإلكتروليتات المفقودة. لذلك، لا تستعيدانْ حجم السوائل أو الأسمولارية، ولكن فى حالة الجفاف يمكنهما دعم مستويات السوائل الموجودة وإبطاء معدل الفقدانْ حتى يتم تناول الماء والإلكتروليتات.

لفهم تأثير الكليتينْ على توازنْ السوائل والإلكتروليتات، منْ المهم أنْ نضع فى الاعتبار أنه إذا تم إعادة امتصاص مادة ما بواسطة الكليتين، فإنها تبقى فى الجسم وتُعاد إلى السائل خارج الخلايا)ECF(، حيثُ تؤثر على حجم وتركيبْ السوائل. وإذا تم ترشيح مادة ما بواسطة الكبيبة أو إفرازها بواسطة الأنابيبْ الكلوية ولم تُعاد امتصاصها، فإنها تُطرح فى البول وتُفقد منْ سوائل الجسم.

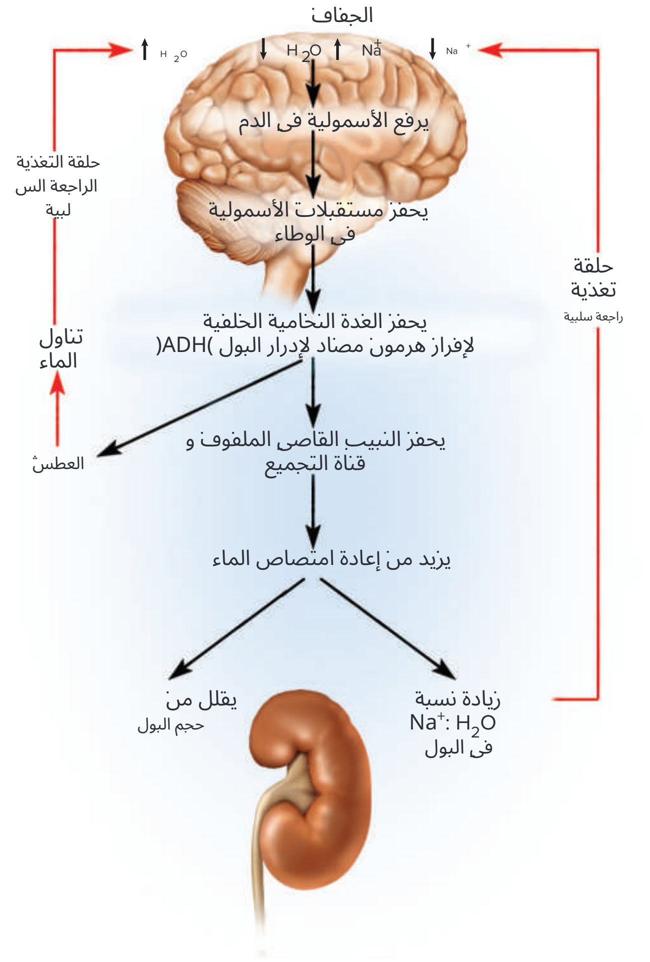
عادةً ما ترتبط التغيراتْ فى حجم البول بتعديلاتْ فى إعادة امتصاص الصوديوم. مع إعادة امتصاص الصوديوم أو إفرازه، ترافقه كمياتٌ متناسبة منْ الماء. قد يتغير الحجم الكلى للسوائل المتبقية فى الجسم، لكنْ الأسمولارية تبقى مستقرة. يُفهم التحكم فى توازنْ السوائل منْ خلال التحكم فى إفراز الصوديوم بشكل أفضل فى سياق توازن الإلكتروليتات، الذى سيناقشْ لاحقًا فى الفصل.

هرمونْ مضاد الإدرار)ADH(، مع ذلك، يوفر وسيلة للتحكم فى إخراج الماء بشكل مستقل عنْ الصوديوم)الشكل 24.4(. فى حالة الجفاف الحقيقى)المعرفة لاحقًا(، ينخفضْ حجم الدم وترتفع تركيزات الصوديوم. يحفز ارتفاع أسمولارية الدم مستقبلاتْ الأسمول فى الوطاء، التى تحفز الغدة النخامية الخلفية لإفراز ADH. استجابةً لـ ADH، تقوم خلايا القنواتْ الجامعة فى الكليتينْ بتصنيع بروتينات تسمى الأكوابورينات. عند تركيبها فى غشاء البلازما، تعمل هذه القنوات على السماح للماء بالانتشار خارج القناة إلى السائل النسيجى عالى التوتر فى النخاع الكلوى. ثم تعيد الكليتانْ امتصاص المزيد منْ الماء وتنتجانْ كمية أقل منْ البول. يستمر إفراز الصوديوم، لذا تزداد نسبة الصوديوم إلى الماء فى البول)يصبح البول أكثر تركيزًا(. منْ خلال مساعدة الكليتينْ على الاحتفاظ بالماء، يبطئُ ADH انخفاضْ حجم الدم وارتفاع أسمولاريته. وهكذا، يشكل آلية ADH حلقة تغذية راجعة سلبية.

على العكس، إذا كانْ حجم الدم والضغط مرتفعينْ جدًا أو كانتْ أسمولارية الدم منخفضة جدًا، يتم تثبيط إفراز ADH. تعيد الأنابيبْ الكلوية امتصاص كمية أقل منْ الماء، يزداد إخراج البول، وينخفضْ إجمالى ماء الجسم. هذه طريقة فعالة للتعويض عنْ ارتفاع ضغط الدم. ونظرًا لأنْ نقص ADH يزيد نسبة الماء إلى الصوديوم فى البول، فإنه يرفع تركيز الصوديوم وأسمولارية الدم.

24.1هـ اضطراباتْ توازنْ السوائل

يكونْ الجسم فى حالة اختلال توازنْ السوائل إذا كانْ هناك خلل فى الحجم الكلى، أو التركيز، أو توزيع الماء بينْ الحُجرات.



الشكل 24.4 عمل هرمونْ مضاد الإدرار. المساراتْ الموضحة باللونْ الأحمر تمثل التغذية الراجعة السلبية.

نقص السوائل

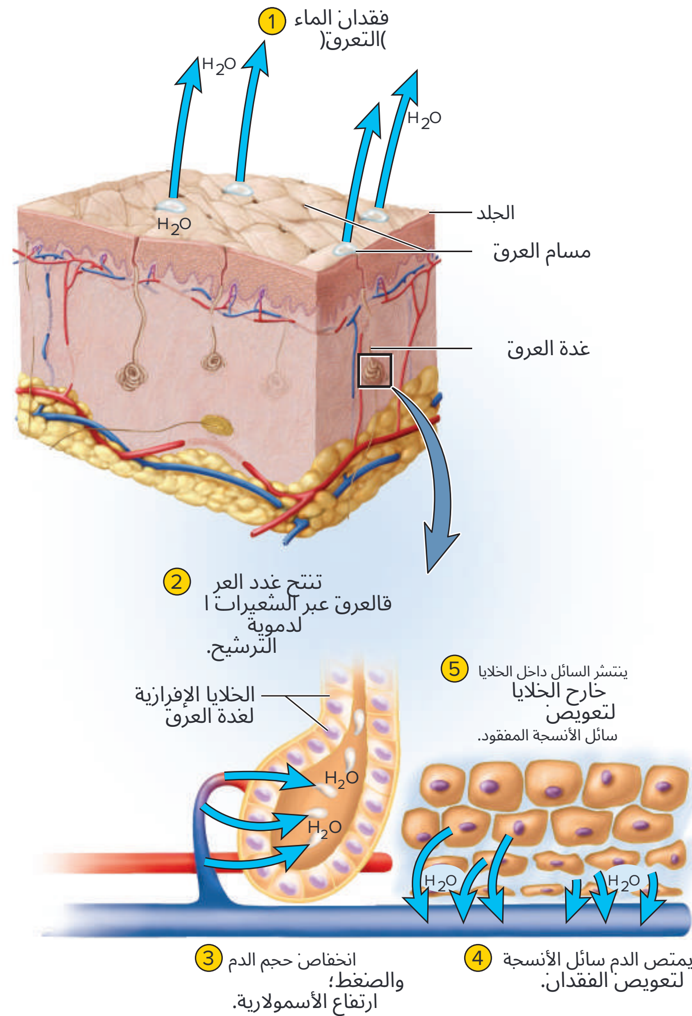
ينشأ نقص السوائل عندما يتجاوز الإخراج المدخول لفترة زمنية كافية. النوعانْ منْ النقص—نقص الحجم ونقص الماء—يختلفانْ فى فقدانْ الماء والإلكتروليتاتْ النسبى والخاصية الأسموزية الناتجة للسائل خارج الخلية. هذا التمييز المهم يتطلبْ استراتيجياتْ مختلفة لعلاج تعوض السوائل)انظر التعمقْ 24.2 فى نهاية الفصل(.

نقص الحجم)نقص حجم الدم[2](يحدثْ عندما تُفقد كمياتْ متناسبة منْ الماء والصوديوم دونْ تعويض. ينخفضْ إجمالى ماء الجسم لكنْ تظل الأسمولارية طبيعية. يحدثْ فقدانْ الحجم فى حالاتْ النزيفْ، الحروقْ الشديدة، والقىء أو الإسهال المزمن. سببْ أقل شيوعًا هو الألدوستيرون

[2] نقص = أقل منْ الطبيعى؛ *الحجم* = volume؛ *الحالة الدموية* = blood condition

سيكون مقدارها حوالى ثلث بلازما الدم. ومع ذلك، مع فقدان الدم للم
اء، يرتفع تركيز الأسمولية فيه ويدخل الماء من سائل الأنسجة إلى مجر
ى الدم لموازنة الفقدان. هذا يرفع أسمولية سائل الأنسجة، وبالتالى ى
تحرك الماء خارج الخلايا لموازنة ذلك)الشكل 24.5(. فى النهاية، تفق
د جميع الأقسام الثلاثة للسوائل)السائل داخل الخلايا، الدم، وسائل الأ
نسجة(الماء. لإفراز 1 لتر من العرق، يأتى حوالى 300 مل من الماء م
ن سائل الأنسجة و700 مل من السائل داخل الخلايا. يمكن أن يؤدى ا
لتمرين المفرط دون تعويض السوائل إلى خسائر تزيد عن 1 لتر فى ال
ساعة.

أخطر تأثيرات نقص السوائل هى الصدمة الدموية بسبب فقدان
حجم الدم والخلل العصبى الناتج عن جفاف خلايا الدماغ. يُعد فقدان ا
لحجم بسبب الإسهال سببًا رئيسيًا لوفيات الرضع، خاصة فى الظروف
غير الصحية التى تؤدى إلى التهابات معوية مثل الكوليرا.



الشكل 24.5 تأثيرات التعرق الغزير على مقصورات السوائل. فى حا
لات الجفاف الشديد، يمكن أن يسبب فقدان السائل داخل الخلايا انكما
ش الخلايا وضعف وظيفتها.

نقص الإفراز)مرض أديسون(، الذى يؤدى إلى امتصاص غير كاف لل
صوديوم والماء بواسطة الكلى.
الجفاف)توازن الماء السلبى(يحدث عندما يفرز الجسم كمية ماء
أكبر بكثير من الصوديوم، مما يؤدى إلى ارتفاع أسمولية السائل خارج ا
لخلايا. أبسط أسباب الجفاف هو نقص شرب الماء — على سبيل الم
ثال، عند التعرض للضياع فى الصحراء أو فى البحر. يمكن أن يكون م
شكلة خطيرة لكبار السن والمرضى المقعدين الذين يعتمدون على الآ
خرين لتوفير الماء لهم، خاصة لأولئك الذين لا يستطيعون التعبير عن
حاجتهم أو الذين لا يهتم مقدمو الرعاية لهم بذلك. السكرى، نقص إفرا
ز هرمون مضاد الإدرار)داء السكرى الكاذب(، التعرق الشديد، والإفرا
ط فى استخدام المدرات البولية هى أسباب إضافية للجفاف. يمكن ل
لطقس البارد أن يسبب الجفاف بنفس قدر الطقس الحار)انظر التعم
ق 24.1(.

لثلاثة أسباب، يكون الرضع أكثر عرضة للجفاف من البالغين:)1(
معدل الأيض العالى لديهم ينتج نواتج أيضية سامة بشكل أسرع، ويطر
حون المزيد من الماء للتخلص منها.)2(كليتهم ليست ناضجة بالكام
ل ولا تستطيع تركيز البول بفعالية.)3(لديهم نسبة أكبر من سطح الج
سم إلى الحجم؛ وبالتالى، مقارنة بالبالغين، يفقدون ضعف كمية الماء
لكل كيلوغرام من وزن الجسم عن طريق التبخر.

الجفاف يؤثر على جميع مقصورات السوائل. افترض، على سبيل
المثال، أنك تلعب مباراة تنس شاقة فى يوم صيفى حار وتفقد لترًا م
ن العرق. من أين يأتى هذا السائل؟ معظمها يخرج من مجرى الدم ع
بر الشعيرات الدموية فى غدد العرق. من حيث المبدأ، لتر واحد من ا
لعرق

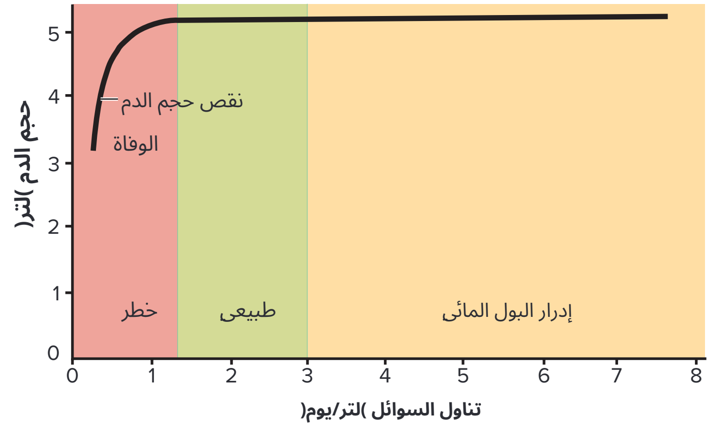
نظرة أعمق 24.1

التطبيق السريرى

توازن السوائل فى الطقس البارد

الطقس الحار والتعرق الغزير يشكلان تهديدًا واضحًا لتوازن السوائل، وكذلك الطق
س البارد. يحافظ الجسم على الحرارة عن طريق تضييق الأوعية الدموية فى الجلد
والأنسجة تحت الجلدية، مما يجبر الدم على الدخول إلى الدورة الدموية الأعمق. هذ
ا يرفع ضغط الدم، مما يثبط إفراز هرمون مضاد لإدرار البول ويزيد من إفراز الببتيد
ات المدرّة للصوديوم. هذه التغيرات الهرمونية تزيد من إخراج البول وتقلل من حج
م الدم. بالإضافة إلى ذلك، الهواء البارد جاف نسبيًا ويزيد من فقدان الماء عن طري
ق التنفس. لهذا السبب يسبب التمرين "احتراق" الجهاز التنفسى أكثر فى الطق
س البارد مقارنة بالطقس الدافئ.

يمكن أن تسبب خسائر الجهاز التنفسى والبولية فى الطقس البارد نقص حجم
الدم بشكل كبير. علاوة على ذلك، يحفز بدء التمرين توسع الأوعية فى العضلات اله
يكلية. فى حالة نقص حجم الدم، قد لا يكون هناك دم كافٍ لتغذيتها، وقد يعانى ال
شخص من ضعف أو تعب أو إغماء)صدمة نقص حجم الدم(. فى الرياضات الش
توية وأنشطة أخرى مثل إزالة الثلج، من المهم الحفاظ على توازن السوائل. حتى إذا
لم تشعر بالعطش، فمن المفيد تناول كميات كافية من السوائل الدافئة مثل الح
ساء أو عصير التفاح. الكحول له تأثير مدر للبول يعاكس هدف تناول السوائل. على
عكس المعلومات الشائعة، لا يحتوى القهوة والشاى)الكافيين والقلويدات ذات ا
لصلة(على تأثير مدر للبول ملحوظ ولا يؤثران على توازن السوائل أكثر من كميات
مماثلة من الماء العادى.



الشكل 24.6 علاقة حجم الدم بتناول السوائل. لا تستطيع الكلى التعويض جيدًا عن تناول السوائل غير الكافي. عند تناول أقل من حوالي 1 لتر/يوم، ينخفض حجم الدم بشكل كبير (يسار) وقد يكون هناك تهديد بالوفاة بسبب الصدمة نقص حجم الدم. من ناحية أخرى، تعوض الكلى جيدًا عن تناول السوائل العالي بشكل غير طبيعي (يمين)؛ فهى تزيل الفائض عن طريق إدرار البول المائى وتحافظ على حجم دم مستقر.

زيادة السوائل

فرط السوائل أقل شيوعًا من نقص السوائل لأن الكليتين فعالتان جدًا فى تعويض تناول السوائل الزائد عن طريق إفراز المزيد من البول (الشكل 24.6). ومع ذلك، يمكن أن تؤدى الفشل الكلوى وأسباب أخرى إلى احتباس السوائل الزائد.

هناك نوعان من فرط السوائل يُطلق عليهما فرط حجم السوائل والترطيب منخفض التوتر. فى فرط حجم السوائل، يتم احتباس كل من الصوديوم والماء ويظل السائل خارج الخلايا متساوى التوتر. يمكن أن ينتج هذا عن فرط إفراز الألدوستيرون أو الفشل الكلوى. فى الترطيب منخفض التوتر (المعروف أيضًا باسم تسمم الماء أو التوازن المائى الإيجابى)، يتم احتباس أو تناول كمية ماء أكثر من الصوديوم ويصبح السائل خارج الخلايا منخفض التوتر. يمكن أن يحدث هذا إذا فقدت كمية كبيرة من الماء والملح عن طريق البول والعرق واستبدلتها بشرب الماء العادى. بدون تناول متناسب من الإلكتروليتات، يخفف الماء السائل خارج الخلايا، مما يجعله منخفض التوتر ويسبب تورم الخلايا. يمكن أن يسبب فرط إفراز هرمون مضاد الإدرار الترطيب منخفض التوتر عن طريق تحفيز احتباس الماء المفرط بينما يستمر الصوديوم فى الإفراز. من بين أخطر تأثيرات أى من نوعى فرط السوائل هما وذمة الرئة والدماغ والوفاة.

تم تلخيص ومقارنة الأشكال الأربعة السابقة من اختلال توازن السوائل فى الجدول 24.1.

الجدول 24.1 أشكال اختلال توازن السوائل

الأسمولية	إجمالى ماء الجسم	شكل
نقص السوائل		
متساوى التوتر (طبيعي)	منخفض	نقص الحجم (نقص حجم الدم)
فرط التوتر (مرتفع)	منخفض	الجفاف (توازن ماء سلبى)
زيادة السوائل		
متساوى التوتر (طبيعي)	مرتفع	زيادة الحجم
مخفض التوتر (منخفض)	مرتفع	ترطيب منخفض التوتر (توازن ماء إيجابى، تسمم بالماء)

▶▶▶ طَبِّق ما تعرفه

بعض أورام الدماغ والبنكرياس والأمعاء الدقيقة تفرز هرمون مضاد الإدرار. ما نوع اختلال توازن السوائل الذى قد يسببه هذا؟ اشرح السبب.

احتباس السوائل

احتباس السوائل[3] (seh-ques-TRAY-shun) هو حالة يتراكم فيها فائض من السوائل فى موقع معين. قد يكون إجمالى ماء الجسم وتركيز الأسمولارية طبيعيين، لكن حجم الدم المتداول قد ينخفض إلى درجة تسبب صدمة دموية. الشكل الأكثر شيوعًا للاحتباس هو *الوذمة*، وهى تراكم غير طبيعي للسوائل فى الفراغات بين الخلايا، مما يسبب تورم النسيج (انظر المناقشة التفصيلية فى القسم 20.3c). يمكن أن يكون النزيف سببًا آخر لاحتباس السوائل؛ حيث يُفقد الدم الذى يتجمع ويتخثر فى الأنسجة من الدورة الدموية. مثال آخر هو *الانصباب الجنبى*، الناجم عن بعض التهابات الرئة، حيث يتراكم عدة لترات من السوائل فى التجويف الجنبى.

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

1. اذكر خمسة طرق لفقدان الماء. أى منها يمثل أكبر فقدان؟ وأيها الأكثر قابلية للتحكم؟
2. اشرح لماذا حتى الشخص المصاب بجفاف شديد يعانى حتمًا من فقدان إضافى للسوائل.
3. افترض أنه لا توجد آليات لإيقاف الشعور بالعطش حتى يصبح الدم مرطبًا بشكل كافٍ. اشرح لماذا كنا نعانى بشكل روتينى من الترطيب منخفض التوتر.
4. لخص تأثير هرمون مضاد الإدرار (ADH) على إجمالى ماء الجسم وأسمولارية الدم.
5. سمِّ وعرّف الأنواع الأربعة لعدم توازن السوائل، وقدم مثالًا على حالة قد تؤدى إلى كل نوع.

[3] الحجز = العزل

توازن الإلكتروليتات 24.2

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف الأدوار الفسيولوجية للصوديوم، والبوتاسيوم، الكالسيوم، والمغنيسيوم، والكلوريد، والفوسفات؛

ب. وصف الآليات الهرمونية والكلوية التي تنظم تركيزات هذه الإلكتروليتات؛ و

ج. ذكر المصطلح الخاص بزيادة أو نقص كل إلكتروليت ووصف عواقب هذه الاختلالات.

توازن الإلكتروليتات هو حالة يكون فيها مقدار الإلكتروليتات التي يم تصها الأمعاء الدقيقة متوازنًا مع المقدار المفقود من الجسم، خاصةً ع بر البول، ويتم فيها تنظيم تركيزات الإلكتروليتات في سوائل الجسم ضمن حدود التوازن الداخلي (الاستتباب). الإلكتروليتات مهمة فسيو لوجيًا لأسباب متعددة: فهي نشطة كيميائيًا وتشارك في الأيض، وتحدد الجهد الكهربائي (فرق الشحنة) عبر أغشية الخلايا، وتؤثر بشكل كبير على أسمولارية سوائل الجسم ومحتوى الجسم من الماء وتوزيعه.

بصورة دقيقة، الإلكتروليتات هي أملاح مثل كلوريد الصوديوم، وليس فقط أيونات الصوديوم أو الكلوريد. ومع ذلك، في الاستخدام الشائع، غالبًا ما يُ شار إلى الأيونات الفردية بشكل غير دقيق على أنها إلكتروليتات. الأيونات ا لموجبة الرئيسية للإلكتروليتات هي الصوديوم (Na^+)، والبوتاسيوم (K^+)، وا لكالسيوم (Ca^{2+})، والمغنيسيوم (Mg^{2+})، والهيدروجين (H^+)؛ أما الأيونات ا لسالبة الرئيسية فهي الكلوريد (Cl^-)، والبيكربونات (HCO_3^-)، والفوسفات (P_i). يتم مناقشة تنظيم الهيدروجين والبيكربونات لاحقًا تحت توازن الحم ض والقاعدة. هنا نركز على الأيونات الستة الأخرى.

تعبر تراكيز الإلكتروليتات بطريقتين — المليمولات لكل لتر (mM/L) والمليلتكافؤات لكل لتر (mEq/L).

الأخيرة تأخذ في الاعتبار شحناتها الكهربائية، وهو عامل مهم في تأثيره ا الفسيولوجي. انظر الملحق ب لمزيد من الشرح حول هذه الاختلافات . الشكل 24.7 يُظهر التراكيز النموذجية لهذه الأيونات في بلازما الدم مقابل السائل داخل الخلايا بوحدة mEq/L. لاحظ أنه بالرغم من الفروق الكبيرة في تراكيز الإلكتروليتات، فإن حجمي السائلين لهما نفس ا لأسمولارية (300 mOsm/L). بلازما الدم هي السائل الأكثر سهولة لق ياس تركيز الإلكتروليتات، لذا تُعرف الزيادات والنقصان بالنسبة إلى تراكيز البلازما الطبيعية. تختلف التراكيز في سائل الأنسجة قليلاً فقط عن تلك في البلازما. البادئة نورمو- تعني تركيز إلكتروليت طبيعي (م ثل نورموكاليميا)، و هايبر- و هيبو- تعني تراكيز أعلى أو أقل من الطبي عي بدرجة كافية للتسبب في اضطرابات فسيولوجية على التوالي.

145 — 4 — 5 — 2 — 103 — 4 — 300

Na^+ K^+ Ca^{2+} Mg^{2+} Cl^- P_i الأسمولارية

(mEq/L) (mOsm/L)

(أ) بلازما الدم

12 — 150 — 40 — 4 — 75 — 300

ملخص تكوين البول الجزء الثاني: إعادة الامتصاص الأنبوبي والإفرازنظرة عامة:تعد عملية تكوين البول ضرورية للحفاظ على التوازن الداخلي في الجسم. يركز هذا القسم على إعادة الامتصاص الأنبوبي والإفراز، موضحًا كيف تقوم الأنابيب

Na^+ K^+ Ca^{2+} Mg^{2+} Cl^- P_i الأسمولارية

(mEq/L) (mOsm/L)

(ب) السائل داخل الخلايا

الشكل 24.7 تراكيز الإلكتروليتات في بلازما الدم والسائل داخل الخلايا. تُعر ض تراكيز بلازما الدم (أ) مباشرة فوق تراكيز نفس الأيونات في السائل داخل الخلايا (ب) للمقارنة. يرمز P_i بشكل جماعي إلى الفوسفات غير العضو ي بأشكال PO_4^{3-}، HPO_4^{2-} و$H_2PO_4^-$. تُعطى تراكيز الإلكتروليتات (الأعمدة ا لخضراء) بوحدة mEq/L. التراكيز بوحدة mmol/L هي نفسها بالنسبة لـ Na^+، K^+، وCl^-؛ نصف القيم الموضحة لـ Ca^{2+} وMg^{2+}؛ وثلث القيم لـ PO_4^{3-}. الأسمولارية (الأعمدة الصفراء) معطاة بوحدة mOsm/L.

في الأقسام التالية، سنستعرض وظائف الإلكتروليتات الرئيسية، وتنظيمها التوازني، واضطراباتها، ثم نراجع أسباب وتأثيرات اختلالات ا لأيونات الموجبة في جدول ملخص.

24.2أ الصوديوم

الوظائف

الصوديوم هو أحد الأيونات الرئيسية المسؤولة عن جهد الراحة لغشاء ا لخلايا، وتدفق الصوديوم عبر

نادر، والاهتمام الأساسي هو الإخراج الكافي للزائد.
هذه واحدة من أهم وظائف الكلى. هناك آليات متعددة للتحكم في تر
كيز الصوديوم، مرتبطة بتأثيراته على ضغط الدم والتوتر الاسموزي وم
نسقة بواسطة الألدوستيرون، والهرمون المضاد لإدرار البول، والببتيدا
ت المدرّة للصوديوم.
الألدوستيرون، "هرمون احتباس الملح"، يلعب الدور الأساسي ف
ي تعديل إخراج الصوديوم. فرط بوتاسيوم الدم يحفز مباشرة قشرة الغ
دة الكظرية على إفراز الألدوستيرون، ويحفز انخفاض ضغط الدم إفرازه
عبر آلية الرينين-أنجيوتنسين- الألدوستيرون)الشكل 24.8(.

الخلايا الوحيدة التي تحتوي على مستقبلات الألدوستيرون هي ف
ي الطرف الصاعد من حلقة النبيب الكلوي، والنبيب الملتوي البعيد،
والجزء القشري من القناة الجامعة. يرتبط الألدوستيرون، وهو ستيرويد
، بالمستقبلات النووية وينشط نسخ جين لمضخة $Na^+–K^+$. خلال 10
إلى 30 دقيقة، يتم تصنيع وتركيب عدد كافٍ من مضخات $Na^+–K^+$
في غشاء البلازما لإحداث تأثير ملحوظ—يبدأ تركيز الصوديوم في البو
ل بالانخفاض ويرتفع تركيز البوتاسيوم مع إعادة امتصاص النبيبات لل
مزيد من الصوديوم وإفراز المزيد من أيونات الهيدروجين والبوتاسيوم.

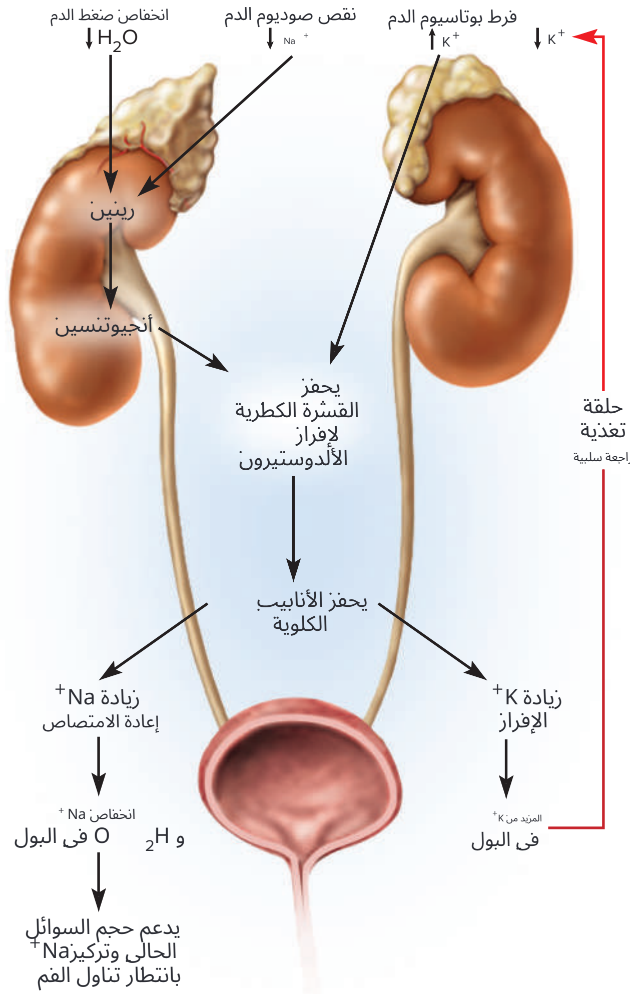
يمر الماء والكلوريد بشكل سلبي مع الصوديوم. لذلك، فإن التأثيرات الأ
ساسية للألدوستيرون هي أن البول يحتوي على كمية أقل من NaCl وكم
ية أكبر من البوتاسيوم ويكون له درجة حموضة أقل. يفرز الرجل البالغ الم
توسط حوالي 5 جرامات من الصوديوم يوميًا، لكن يمكن أن يكون البول
خاليًا تقريبًا من الصوديوم عندما يكون مستوى الألدوستيرون مرتفعًا. ع
لى الرغم من أن الألدوستيرون يؤثر بقوة على إعادة امتصاص الصوديوم،
إلا أن له تأثيرًا ضئيلًا على تركيز الصوديوم في البلازما لأن الصوديوم الم
عاد امتصاصه يصاحبه كمية متناسبة من الماء.
ارتفاع ضغط الدم يثبط آلية الرينين–أنجيوتنسين–ألدوستيرون. ع
ندها تعيد الكلى امتصاص الصوديوم تقريبًا فقط حتى النبيب الملتوي
القريب)PCT(، ويحتوي البول على ما يصل إلى 30 جرامًا من الصود
يوم يوميًا.
للألدوستيرون تأثيرات طفيفة فقط على حجم البول، وحجم الدم،
وضغط الدم على الرغم من ميل الماء إلى اتباع الصوديوم أسموزيًا. ح
تى في حالة فرط إفراز الألدوستيرون، نادرًا ما يزيد حجم الدم عن 5% إ
لى 10% فوق الطبيعي. زيادة حجم الدم ترفع ضغط الدم ومعدل الت
شيح الكبيبي)GFR(. على الرغم من أن الألدوستيرون يزيد من إعادة ا
متصاص الصوديوم والماء في النبيبات، إلا أن ذلك يعوضه ارتفاع مع
دل الترشيح الكبيبي، ولا يحدث سوى انخفاض طفيف في كمية البو
ل.
يعدل هرمون مضاد الإدرار)ADH(إخراج الماء بشكل مستقل ع
ن إخراج الصوديوم. لذلك، وعلى عكس الألدوستيرون، يمكنه تغيير تر
كيز الصوديوم. يحفز ارتفاع تركيز الصوديوم في الدم إفراز ADH من ال
فص الخلفي للغدة النخامية. تعيد الكلى عندها امتصاص المزيد من ا
لماء، مما يبطئ أي زيادة إضافية في تركيز الصوديوم في الدم. لا يس
تطيع ADH وحده خفض التركيز؛ إذ يتطلب ذلك تناول الماء لتخفيف
الصوديوم الموجود. وعلى العكس، فإن انخفاض تركيز الصوديوم يثبط
إفراز ADH. يُفرز المزيد من الماء، مما يزيد النسبة النسبية للصوديوم
المتبقي في الدم.

تثبط الببتيدات المدرّة للصوديوم إعادة امتصاص الصوديوم والما
ء وإفراز الرينين وADH. عندها تطرح الكلى المزيد من الصوديوم والماء
وتخفض ضغط الدم. بالمقابل، ينشط الأنجيوتنسين II مضاد النقل
$Na^+–H^+$ في النبيب الملتوي القريب)PCT(، مما يزيد من إعادة امت
صاص الصوديوم ويقلل من إخراج الصوديوم في البول.
تؤثر عدة هرمونات أخرى أيضًا على توازن الصوديوم. يحاكي الإس
تروجين تأثير الألدوستيرون ويتسبب في احتباس النسا ء

قنوات الغشاء هي حدث أساسي في إزالة الاستقطاب التي تقوم عليه
ا وظيفة الأعصاب والعضلات. الصوديوم هو الكاتيون الرئيسي في ال
سائل خارج الخلوي)ECF(؛ تشكل أملاح الصوديوم 90% إلى 95% من
أسمولاريته. لذلك، يُعد الصوديوم أهم المذاب في تحديد إجمالي ماء
الجسم وتوزيع الماء بين الحُجرات المائية. تحتفظ أيونات الصوديوم ال
مرتبطة بالبروتيوغليكانات الغضروف بالماء، مما يضمن ترطيب الغ
ضاريف وقدرتها على العمل كوسائد وامتصاص للصدمات. توفر تدرج
ات الصوديوم عبر غشاء البلازما الطاقة الكامنة التي تُستخدم في النق
ل المشترك لمذابّات أخرى مثل الجلوكوز والبوتاسيوم والكالسيوم. م
ضخة $Na^+–K^+$ هي آلية مهمة لتوليد حرارة الجسم. يلعب بيكربونات ا
لصوديوم)$NaHCO_3$(دورًا رئيسيًا في تنظيم درجة حموضة السائل خا
رج الخلوي.

التوازن الداخلي

يحتاج البالغ إلى حوالي 0.5 جرام من الصوديوم يوميًا، في حين يحتوي النظام الغذائي
الأمريكي النموذجي على 3 إلى 7 جرامات يوميًا. لذلك، فإن نقص الصوديوم الغذائي



الشكل 24.8 عمل الألدوستيرون. المسار الموضح على اليمين)باللون الأحمر(يمثل التغذية الراجعة السلبية.

ما المطلوب، بالإضافة إلى الألدوستيرون، لزيادة حجم الدم؟

احتباس الماء، ارتفاع ضغط الدم، والوذمة. تؤدى فرط التوتر الشديد إ لى انكماش الخلايا، مما يضر بالهيكل الخلوى، ويكسر الحمض النووى ، ويحفز موت الخلايا المبرمج)الاستماتة(. نقص صوديوم الدم[5])أقل من 130 ملى مكافئ/لتر(يكون عادة نتيجة لزيادة الماء فى الجسم بد لاً من زيادة إفراز الصوديوم، كما فى الحالة المذكورة سابقًا لشخص ى فقد كميات كبيرة من العرق أو البول ويعوض ذلك بشرب الماء العاد ى. عادةً ما يتم تصحيح نقص صوديوم الدم بسرعة عن طريق إفراز الم اء الزائد، ولكن إذا لم يُصحح فإنه يسبب أعراض الترطيب منخفض ا لتوتر التى تم وصفها سابقًا.

24.2ب البوتاسيوم

الوظائف

البوتاسيوم هو أكثر الكاتيونات وفرة فى السائل داخل الخلوى وهو العا مل الأكبر فى تحديد الأسمولارية داخل الخلية وحجم الخلية.
إلى جانب الصوديوم، ينتج الجهد الراكد للغشاء والجهود الفعلية لخلايا الأعصاب والعضلات)الشكل 24.9أ(.

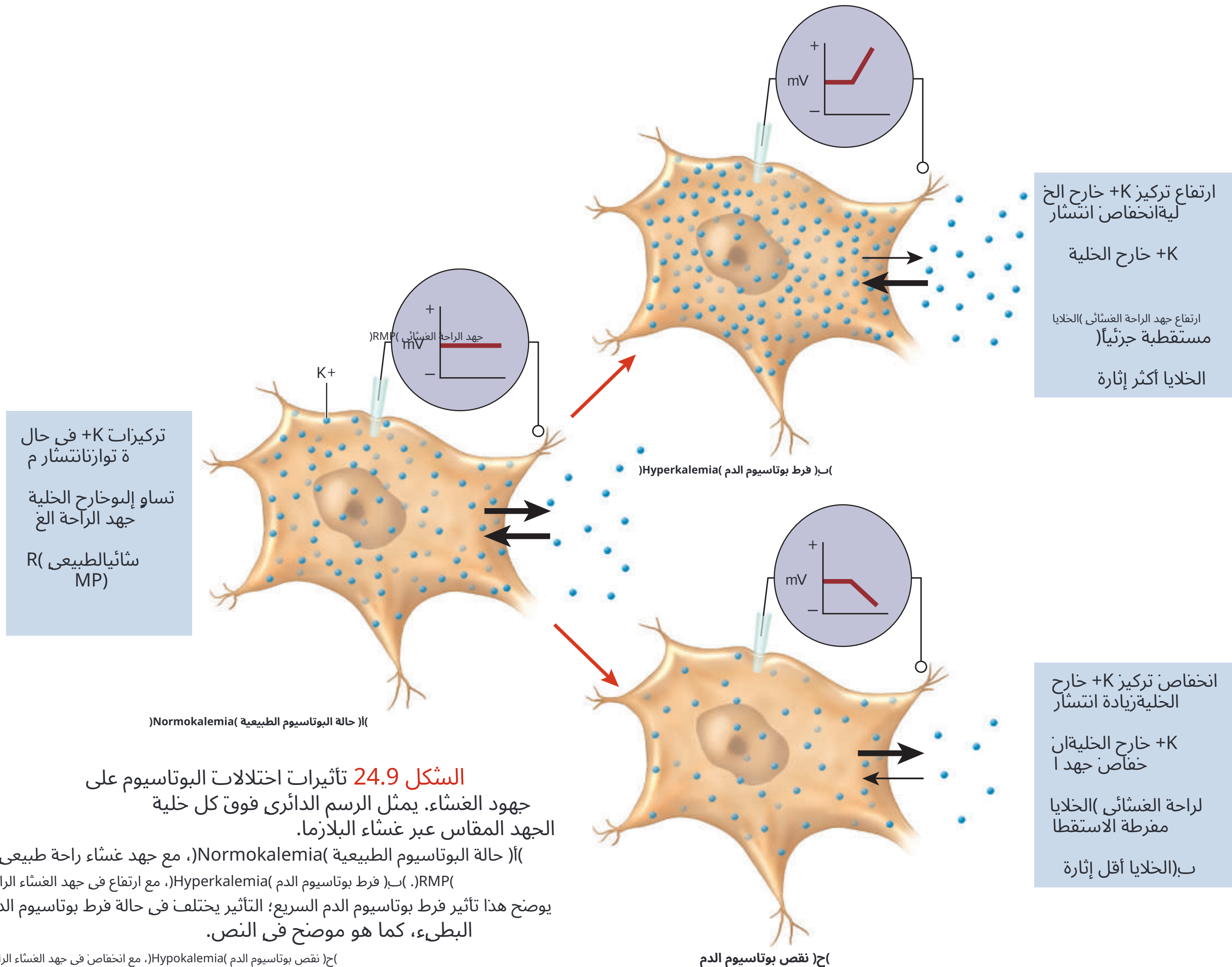
ء أثناء الحمل وجزء من دورة الحيض. يقلل البروجسترون من إعادة امتصاص الصوديوم وله تأثير مدر للبول. المستويات العالية من الجلوكوكورتيكويدات تعزز إعادة امتصاص الصوديوم وتسبب وذمة.
فى بعض الحالات، يتم تحقيق توازن الصوديوم من خلال تنظيم تناو ل الملح. يحدث شغف بالملح لدى الأشخاص الذين يعانون من نقص فى الصوديوم — على سبيل المثال، بسبب فقدان الدم أو مرض أديسون. أح يانًا تطور النساء الحوامل شغفًا بالأطعمة المالحة. لا يقتصر شغف الملح ع لى البشر فقط؛ بل تسعى العديد من الحيوانات من الفيلة إلى الفراشات إ لى التربة المالحة الرطبة حيث يمكنها الحصول على هذا المعدن الحيوى.

اختلالات

الاختلالات الحقيقية فى تركيز الصوديوم نادرة نسبيًا لأن فائض الصود يوم أو نقصه يصاحبه دائمًا تغييرات متناسبة فى حجم الماء. فرط ص وديوم الدم[4]هو تركيز الصوديوم فى البلازما الذى يتجاوز 145 ملى مكا فئ/لتر. يمكن أن ينتج عن إعطاء محلول ملحى وريدى)انظر التعمق 2 4.2 فى نهاية هذا الفصل(. من أهم عواقبه

[5] *hypo* = نقص، تحت الطبيعى؛ *natr* = الصوديوم؛ *emia* = حالة الدم

[4] *hyper* = زيادة، فوق الطبيعى؛ *natr* = الصوديوم؛ *emia* = حالة الدم



الشكل 24.9 تأثيرات اختلالات البوتاسيوم على جهود الغشاء. يمثل الرسم الدائرى فوق كل خلية الجهد المقاس عبر غشاء البلازما.
)أ(حالة البوتاسيوم الطبيعية)Normokalemia(، مع جهد غشاء راحة طبيعى)RMP(.)ب(فرط بوتاسيوم الدم)Hyperkalemia(، مع ارتفاع فى جهد الغشاء الراحة.
يوضح هذا تأثير فرط بوتاسيوم الدم السريع؛ التأثير يختلف فى حالة فرط بوتاسيوم الدم البطىء، كما هو موضح فى النص.
)ج(نقص بوتاسيوم الدم)Hypokalemia(، مع انخفاض فى جهد الغشاء الراحة.

ترتفع تركيزات البوتاسيوم ببطء، مما يجعل الأعصاب والعضلات أقل إثارة. *يؤدي الاستقطاب البطيء للخلية إلى تعطيل قنوات الصوديوم* المفتوحة بالجهد، ولا تعود هذه القنوات قابلة للإثارة حتى يعاد استقطاب الغشاء. القنوات المعطلة للصوديوم لا يمكنها توليد جهد الفعل.

نادراً ما ينتج نقص بوتاسيوم الدم (Hypokalemia) (<3.5 mEq/L) عن نقص في النظام الغذائي، لأن معظم الأنظمة الغذائية تحتوي على كميات كافية من البوتاسيوم؛ ومع ذلك، يمكن أن يحدث في الأشخاص الذين يعانون من فقدان الشهية. غالباً ما ينتج نقص بوتاسيوم الدم عن التعرق الشديد، القيء المزمن أو الإسهال، الاستخدام المفرط للملينات، فرط إفراز الألدوستيرون، أو القلاء. مع انخفاض تركيز البوتاسيوم في السائل خارج الخلوي (ECF)، ينتقل المزيد من البوتاسيوم من السائل داخل الخلوي (ICF) إلى السائل خارج الخلوي. مع فقدان هذه الكاتيونات من السيتوبلازم، تصبح الخلايا مفرطة الاستقطاب وتصبح خلايا الأعصاب والعضلات أقل إثارة (الشكل 24.9ج). ينعكس هذا في ضعف العضلات، فقدان توتر العضلات، انخفاض المنعكسات، والنشاط الكهربائي غير المنتظم للقلب. نقص بوتاسيوم الدم هو سبب شائع للوفاة لدى المرضى الذين يعانون من القيء المزمن أو العدوى الشديدة.

طبق ما تعرفه

بعض أورام قشرة الغدة الكظرية تفرز كميات زائدة من الألدوستيرون وقد تسبب الشلل. اشرح هذا التأثير وحدد اختلالات الإلكتروليت والسوائل التي تتوقع ملاحظتها في مثل هذه الحالة.

24.2ح الكالسيوم

الوظائف

يمنح الكالسيوم القوة للهيكل العظمي، وينشط آلية انزلاق الألياف في انقباض العضلات، ويعمل كرسول ثانٍ لبعض الهرمونات والناقلات العصبية، وينشط الإفراز الخلوي للناقلات العصبية وغيرها من الإفرازات الخلوية، وهو عامل أساسي في تجلط الدم. في القلب، يحافظ على انقباض البطين لفترة كافية لضمان ضخ الدم بفعالية. تحافظ الخلايا على تركيز منخفض جداً من الكالسيوم داخلها لأنها تحتاج إلى تركيز عالٍ من أيونات الفوسفات (لأسباب ستُناقش لاحقاً). إذا تراكم الكالسيوم والفوسفات معاً داخل الخلية، فإن بلورات فوسفات الكالسيوم ستترسب في السيتوبلازم. للحفاظ على تركيز عالٍ من الفوسفات وتجنب ترسيب فوسفات الكالسيوم، تقوم الخلايا بضخ Ca^{2+} إلى الخارج وتحافظ على تركيز منخفض داخل الخلية، أو تحتجز Ca^{2+} في الشبكة الإندوبلازمية الملساء وتفرج عنه فقط عند الحاجة. الخلايا التي تخزن Ca^{2+} غالباً ما تحتوي على بروتين يسمى كالسكويسترين الذي يرتبط بـ Ca^{2+} المخزن ويجعله غير نشط كيميائياً.

التوازن الداخلي

يتم تنظيم تركيز الكالسيوم بشكل رئيسي بواسطة هرمون الغدة الجار درقية، والكالسيتريول، وفي الأطفال، الكالسيتونين (انظر القسم 7.4ب). تعمل هذه الهرمونات من خلال تأثيرها على ترسيب وامتصاص العظام، وامتصاص الكالسيوم في الأمعاء، وإفراز البول. تعرض الشكل 7.17 مخططين يلخصان توازن الكالسيوم.

البوتاسيوم مهم بقدر الصوديوم في مضخة Na^{+}–K^{+} ووظائفها في النقل المشترك وتوليد الحرارة (التوليد الحراري). وهو عامل مساعد أساسي لتخليق البروتين وبعض العمليات الأيضية الأخرى.

التوازن الداخلي

يرتبط توازن البوتاسيوم ارتباطاً وثيقاً بتوازن الصوديوم. بغض النظر عن حالة توازن البوتاسيوم في الجسم، يتم إعادة امتصاص حوالي 90% من البوتاسيوم الذي يفلتره الكبيبة بواسطة النبيب القريب (PCT) ويتم إفراز الباقي في البول. يتم التحكم في تغيرات إفراز البوتاسيوم لاحقاً في النفرون عن طريق تعديل كمية البوتاسيوم المعاد إلى السائل الأنبوبي بواسطة النبيب الملتوي البعيد والجزء القشري من القناة الجامعة (CD). عندما يكون تركيز البوتاسيوم عالياً، تفرز هذه الأنابيب المزيد من البوتاسيوم إلى المرشح وقد يحتوي البول على بوتاسيوم أكثر مما تفرزه الكبيبة من الدم.

عندما يكون مستوى البوتاسيوم في الدم منخفضاً، تفرز الأنابيب كمية أقل. يعيد النبيب الملتوي البعيد والقناة الجامعة امتصاص البوتاسيوم من خلال خلاياها المتداخلة.

ينظم الألدوستيرون توازن البوتاسيوم إلى جانب الصوديوم (الشكل 24.8). يؤدي ارتفاع تركيز البوتاسيوم إلى تحفيز قشرة الغدة الكظرية على إفراز الألدوستيرون. يحفز الألدوستيرون إفراز البوتاسيوم الكلوي في الوقت نفسه الذي يحفز فيه إعادة امتصاص الصوديوم. كلما زاد الصوديوم في البول، قل البوتاسيوم، والعكس صحيح.

اختلالات

اختلالات البوتاسيوم هي الأخطر بين جميع اختلالات الإلكتروليتات. فرط بوتاسيوم الدم[6] (>5.5 mEq/L) يمكن أن يكون له تأثيرات معاكسة تماماً اعتماداً على ما إذا كانت تركيز البوتاسيوم يرتفع بسرعة أو ببطء. يمكن أن يرتفع بسرعة عندما، على سبيل المثال، يتسبب إصابة سحق أو فقر دم انحلالي في إطلاق كميات كبيرة من البوتاسيوم من الخلايا المنفجرة. يمكن أن يحدث هذا أيضاً نتيجة لنقل دم قديم مخزن لأن البوتاسيوم يتسرب من كريات الدم الحمراء إلى البلازما أثناء التخزين. الزيادة المفاجئة في البوتاسيوم خارج الخلايا تميل إلى جعل خلايا الأعصاب والعضلات أكثر إثارة بشكل غير طبيعي. عادةً، يمر البوتاسيوم باستمرار داخل وخارج الخلايا بمعدلات متساوية — يخرج عن طريق الانتشار ويعود للدخول بواسطة مضخة Na^{+}–K^{+}. ولكن في حالة فرط بوتاسيوم الدم، يكون فرق التركيز بين السائل داخل الخلايا (ICF) والسائل خارج الخلايا (ECF) أقل، لذا يقل الانتشار الخارجي للبوتاسيوم. يبقى المزيد من البوتاسيوم داخل الخلية أكثر من الطبيعي، وبالتالي يكون للغشاء البلازمي جهد راحة أقل سلبية وأقرب إلى العتبة التي ستؤدي إلى إطلاق جهد الفعل (الشكل 24.9ب). هذه حالة خطيرة جدًا يمكن أن تؤدي بسرعة إلى توقف القلب.

تُستخدم أحيانًا المحاليل عالية البوتاسيوم من قبل الأطباء البيطريين لقتل الحيوانات الرحيم، وتُستخدم في بعض الولايات كحقنة قاتلة لعقوبة الإعدام.

يمكن أن يحدث فرط بوتاسيوم الدم أيضًا ببطء نتيجة لأسباب مثل نقص إفراز الألدوستيرون، فشل الكلى، أو الحماض. (يتم شرح العلاقة بين اختلالات الحمض-القاعدة واختلالات البوتاسيوم في وقت لاحق.) ومن المفارقات، إذا كانت السوائل خارج الخلية

[6] *فرط* = فوق الطبيعي؛ *بوتاسيوم* = البوتاسيوم؛ *إيميا* = حالة الدم

مرض كلوى. يؤدى إلى فرط تهيج الجهاز العصبى والعصلى؛ رعشات ع
ضلية، تشنجات، أو تيتانوس؛ ارتفاع ضغط الدم الناتج عن تضيق الأو
عية المفرط؛ وتسارع ضربات القلب واضطراب نظم البطين.

24.2e الكلوريد

الوظائف

أيونات الكلوريد هى أكثر الأنيونات وفرة فى السائل خارج الخلوى (EC
F) وبالتالى تساهم بشكل كبير فى أسمولارية هذا ا
لسائل. تُستخدم أيونات الكلوريد فى تكوين حمض المعدة (HCl)، وت
شارك فى تحول الكلوريد الذى يصاحب تحميل وتفريغ ثانى أكسيد ال
كربون بواسطة كريات الدم الحمراء (انظر الأشكال 22.24، 22.25).
بنفس الآلية المشروحة لاحقًا، تلعب أيونات الكلوريد دورًا رئيسيًا فى
تنظيم درجة حموضة الجسم (pH).

التوازن الداخلى

تنجذب أيونات الكلوريد بشدة إلى Na^+، K^+، وCa^{2+}. ويتطلب الأمر طا
قة كبيرة للحفاظ على فصل أيونات الكلوريد عن هذه الكاتيونات، لذا
يتم تحقيق توازن الكلوريد بشكل رئيسى كنتيجة ثانوية لتوازن الصود
يوم—فعندما يُحتفظ بالصوديوم أو يُطرح، تتبع أيونات الكلوريد ذلك
بشكل سلبى.

اختلالات

فرط الكلوريد Hyperchloremia (>105 mEq/L) عادة ما يكون نتيج
ة لزيادة فى النظام الغذائى أو إعطاء محلول ملحى وريدى. نقص الكلور
يد Hypochloremia (<95 mEq/L) عادة ما يكون أثرًا جانبيًا لنقص ا
لصوديوم، لكنه أحيانًا ينتج عن فرط البوتاسيوم أو الحماض. فى الحالة
الأخيرة، تحتفظ الكلى بالبوتاسيوم عن طريق طرح المزيد من الصوديو
م، ويأخذ الصوديوم معه الكلوريد. التأثيرات الأساسية لاختلالات الكلور
يد هى اضطرابات فى توازن الحمض والقاعدة، لكن هذا يعمل فى كلا
الاتجاهين—فاختلال درجة الحموضة الناتج عن سبب آخر يمكن أن ى
سبب أيضًا اختلالًا فى الكلوريد. لذلك يُناقش توازن الكلوريد بشكل أو
سع فى القسم 24.3 المتعلق بتوازن الحمض والقاعدة.

24.2f الفوسفات

الوظائف

الفوسفات غير العضوية (P_i) فى سوائل الجسم هى مزيج متوازن من ا
لفوسفات (PO_4^{3-}) فوسفات أحادى الهيدروجين (HPO_4^{2-}) وفوسفا
ت ثنائى الهيدروجين ($H_2PO_4^-$) الأيونات. الفوسفات مركزة نسبيًا فى ا
لسائل داخل الخلايا (ICF)، حيث تتولد من تحلل ATP ومركبات الفو
سفات الأخرى. وهى مكون من الفوسفوليبيدات، ATP، RNA، DNA،
GTP، cAMP، فوسفات الكرياتين، والمركبات ذات ال
صلة. كل عملية تعتمد على ATP تعتمد على أيونات الفوسفات. تنش
ط الفوسفات العديد من المسارات الأيضية عن طريق فوسفرة الإنزيم
ات والركائز مثل الجلوكوز. كما أنها مهمة أيضًا كعوامل عازلة تساعد
فى تثبيت الرقم الهيدروجينى (pH) لسوائل الجسم.

التوازن الداخلى

يوفر النظام الغذائى المتوسط كميات وافرة من الفوسفات، والتى يمت
صها الأمعاء الدقيقة بسهولة. عادةً ما يتم الحفاظ على تركيز الفوسفات
فى البلازما حوالى 4 ملى مكافئ/لتر، مع فقدان مستمر للفوسفات الزا
ئد عن طريق الترشيح الكبيبى. إذا انخفض تركيز الفوسفات فى البلازما

اختلالات

فرط كالسيوم الدم (>5.8 mEq/L) يمكن أن ينتج عن القلاء،
فرط نشاط الغدة الجار درقية، أو قصور الغدة الدرقية. يقلل من نفاذية
الصوديوم لغشاء البلازما ويثبط استقطاب خلايا الأعصاب والعضلات
. عند تركيزات ≥12 mEq/dL، يسبب فرط كالسيوم الدم
ضعفًا عضليًا، انخفاضًا فى ردود الفعل، واضطراب نظم القلب.
نقص كالسيوم الدم (<4.5 mEq/L) يمكن أن ينتج عن نق
ص فيتامين د، الإسهال، الحمل، الرضاعة، الحماض، قصور الغدة الح
ار درقية، أو فرط نشاط الغدة الدرقية. يزيد من نفاذية الصوديوم لغشا
ء البلازما، مما يجعل الجهاز العصبى والعضلى مفرط الإثارة. يحدث ال
تشنج عندما ينخفض تركيز الكالسيوم إلى 6 ملغ/ديسيلتر وقد يكون
قاتلًا عند 4 ملغ/ديسيلتر (2 mEq/L) بسبب تشنج الحنجرة والاختناق
.

24.2د المغنيسيوم

الوظائف

حوالى 54% من المغنيسيوم (Mg^{2+}) فى الجسم موجود فى نسيج الع
ظام و45% فى السائل داخل الخلايا، خاصة فى العضلات الهيكلية. الم
غنيسيوم هو ثانى أكثر الكاتيونات داخل الخلوية وفرة بعد البوتاسيوم.
معظم Mg^{2+} داخل الخلايا مرتبط بـ ATP، لكن Mg^{2+} هو أيضًا عامل م
ساعد ضرورى للعديد من الإنزيمات، وبروتينات نقل الغشاء، والأحما
ض النووية. لذلك يمكن أن تؤدى اختلالات المغنيسيوم إلى تأثيرات و
اسعة النطاق على نقل الغشاء، والجهود الكهربائية للغشاء، واستقلاب
الخلية، وتكرار الحمض النووى.

التوازن الداخلى

تتراوح مستويات المغنيسيوم فى بلازما الدم عادة بين 1.5 إلى 2.0 m
Eq/L، فى حين أن تركيزاته داخل الخلايا متغيرة جدًا من
نسيج إلى آخر، لكنها تصل إلى 40 mEq/L فى العضلات الهيكلية. عاد
ةً ما يكون تناول المغنيسيوم الغذائى بين 140 إلى 360 ملغ/يوم، لكن
يتم امتصاص 30% إلى 40% فقط منه بواسطة الأمعاء الدقيقة، ويم
ر الباقى دون استخدام. يتم تنظيم امتصاصه المعوى بشكل رئيسى
بواسطة فيتامين د.
يفقد الجسم حوالى ثلثى كمية المغنيسيوم Mg^{2+} عبر البراز وثلثه
ا عبر البول. يتم تنظيم احتباس أو فقدان المغنيسيوم البلازمى Mg^{2+}
بشكل رئيسى فى الجزء السميك من الذراع الصاعدة لحلقة النبيب (ح
لقة هنلى)، حيث يُعاد امتصاص حوالى 70% من المغنيسيوم المص
فى؛ ويتم امتصاص كميات أقل فى أجزاء أخرى من النبيب.
يتم الامتصاص بشكل رئيسى عبر المسار بين الخلوى (بين خلايا الأنبو
ب الظهارية)، ويُحفز ذلك بواسطة الجهد الكهربائى الإيجابى للسائل الأن
بوبى الذى يدفع أيونات المغنيسيوم الموجبة بعيدًا. يتحكم هرمون الغدة
الجار درقية فى معدل الامتصاص وهو المنظم الأساسى لمستوى المغ
نيسيوم البلازمى Mg^{2+}.

اختلالات

عادةً ما تكون اختلالات المغنيسيوم ناتجة عن فقدان مفرط من الجسم بدلاً م
ن نقص فى النظام الغذائى. فرط المغنيسيوم Hypermagnesemia، وهو ز
يادة (>2.0 mEq/L)، نادر الحدوث إلا فى حالات القصور الكلوى. يميل إلى إ
حداث تأثير مهدئ، مع خمول، وضعف فى العضلات، وضعف فى المنعكسا
ت؛ وقد يسبب تثبيط أو فشل فى التنفس، وانخفاض ضغط الدم بسبب نق
ص توتر الأوعية الدموية، وتوقف قلبى انبساطى رخوى.

نقص المغنيسيوم Hypomagnesemia، وهو نقص فى المغنيسيوم البلازمى Mg^{2+}

(<1.5 mEq/L)، يمكن أن ينتج عن سوء امتصاص معوى، أو قىء، أو إسهال، أو

أو أقل من التركيز الطبيعى مع تأثير فورى ضئيل
على الفسيولوجيا.

24.2ح ملخص الاختلالات

الجدول 24.2 يلخص بعض أسباب وتأثيرات اختلالات الصوديوم، البوتاسيوم، الكالسيوم، والمغنيسيوم. الاختلالات فى الأنيونات التى نوقشت سابقًا — الكلوريد والفوسفات — مهمة بشكل رئيسى فيما يتعلق بتوازن الحمض-القاعدة، الذى سيناقش فى القسم التالى.
أسباب وتأثيرات اختلالات الكهارل معقدة ومترابطة إلى حد يجع لها مربكة تقريبًا. أحيانًا تبدو متناقضة، مثل القىء والإسهال

إذا انخفض تركيز الفوسفات
فى البلازما كثيرًا عن هذا المستوى، فإن الأنابيب الكلوية تعيد امتصاص كل الفوسفات المصفى.
هرمون الغدة الجار درقية يزيد من إفراز الفوسفات كجزء من آلية زيادة تركيز أيونات الكالسيوم الحرة فى السائل خارج الخلايا)ECF(. تق ليل تركيز الفوسفات فى السائل خارج الخلايا يقلل من تكوين فوسفا ت الكالسيوم وبالتالى يساعد فى دعم تركيز الكالسيوم فى البلازما. كم ا تتأثر معدلات إفراز الفوسفات بشدة بحموضة البول، كما نوقش فى القسم 24.3.

اختلالات

توازن الفوسفات ليس حرجًا مثل توازن الإلكتروليتات الأخرى. يمكن للجسم تحمل تباينات واسعة عدة مرات فوق

TABLE 24.2 **أسباب وتأثيرات بعض اختلالات الإلكتروليت الرئيسية**

الاختلال	الأسباب	الأعراض السريرية
الصوديوم		
فرط صوديوم الدم ($Na^+ > 145$ mEq/L)	فقدان الماء بسبب القىء أو الإسهال المزمن؛ الحروق؛ المدرّات ال بولية؛ التعرق المفرط؛ داء السكرى الكاذب. الجفاف الناتج عن ع دم الوصول إلى الماء أو العطش غير الكافى واستهلاك الماء. التسرى ب الوريدى للمحلول الملحى مفرط التوتر. تناول الصوديوم الغذائى ا لزائد. فرط إفراز الكورتيكوستيرون.	العطش وكثرة التبول. ارتفاع ضغط الدم. تشنجات عضلية. خلل فى الجهاز العصبى المركزى بسبب انكماش خلايا الدماغ: الارتباك، ا لخمول أو الإثارة، النزيف الدماغى، النوبات، الغيبوبة.
نقص صوديوم الدم ($Na^+ < 130$ mEq/L)	الاستهلاك المفرط للماء العادى. القىء، الإسهال، الحروق، المد رات البولية، كثرة العطش. اختلالات هرمونية تشمل نقص الكورتيزو ل، الألدوستيرون، أو هرمون الغدة الدرقية؛ داء السكرى)مع فرط سكر الدم(؛ فرط هرمون مضاد الإدرار)ADH(. أمراض الكلى.	عادةً ما يكون خلل الجهاز العصبى المركزى ناتجًا عن وذمة دماغ ية: صداع، ارتباك، اضطراب التوجه، تغيرات فى الشخصية، خمول، غيبوبة، نوبات، غيبوبة عميقة. وذمة رئوية ودماغية. تسار ع ضربات القلب.
البوتاسيوم		
فرط بوتاسيوم الدم ($K^+ > 5.5$ mEq/L)	فشل كلوى، حروق، نزيف الجهاز الهضمى، إصابات سحق، انح لال الريبدات، انحلال الدم، نقل دم قديم، تسريب سريع لـ I.V. KCl، الحماض، فرط سكر الدم، نقص إفراز الألدوستير ون.	عادةً ما تبدأ بتأثيرات سامة على القلب: رجفان بطينى، بطء القل ب، توقف القلب. تهيج. ضعف العضلات، شلل رخوى. غثيان، ق ىء، إسهال.
نقص بوتاسيوم الدم ($K^+ < 3.5$ mEq/L)	الإفراط فى استخدام الملينات أو المدرات البولية؛ القىء أو الإسها ل المزمن؛ التعرق الشديد. فرط إفراز الجلوكوكورتيكويد أو الألدوستير ون. القلاء.	كثرة التبول، العطش الشديد. التعب. ألم العضلات، التشنجات، ا لضعف، فقدان توتر العضلات، انخفاض المنعكسات، التشنج، انحلال الريبدات. فرط إثارة القلب، اضطراب النظم. غثيان، قىء، قلاء، ارتباك. توقف التنفس.
الكالسيوم		
فرط كالسيوم الدم ($Ca^{2+} > 5.8$ mEq/L)	عادةً ما يكون بسبب زيادة امتصاص العظام؛ سرطان العظام النقيلى وبعض أنواع السرطان الأخرى؛ مرض باجيت؛ فرط هرمون الغدة الجار درقية أو فيتامين د؛ نقص هرمون الغدة الدرقية؛ الجمود. الاستخدام المفرط لمضادات الحموضة التى تحتوى على كربونات الكالسيوم. فشل كلوى. القلاء.	فقدان الشهية، الغثيان، القىء، الإمساك. العطش الشديد، التبول ا لمفرط، التبول الليلى. الاكتئاب، تغيرات الشخصية. ضعف الع ضلات، ردود فعل منخفضة. ألم العظام. حصى الكلى. اضطراب نظم القلب، توقف القلب. الارتباك، الهذيان، الغيبوبة، ال سبات.
نقص كالسيوم الدم ($Ca^{2+} < 4.5$ mEq/L)	نقص الكالسيوم أو المغنيسيوم أو فيتامين د فى النظام الغذائى ؛ سوء امتصاص فيتامين د؛ نقص التعرض لأشعة الشمس؛ نقص هرمون الغدة الجار درقية أو فرط هرمون الغدة الدرقية. الإسهال المزمن. الحمل. الرضاعة. أمراض الكلى. الحماض.	ضعف العظام، تلين العظام، الكسور. تشنجات العضلات، الرعشة ، التشنج، النوبات؛ تشنج الحنجرة والاختناق. تنميل. فشل القلب.
مغنيسيوم		
فرط ماغنيسيوم الدم ($Mg^{2+} > 2.0$ mEq/L)	تناول مفرط، كما فى مضادات الحموضة القائمة على المغنيسيوم. نقص الألدوستيرون أو هرمون الغدة الدرقية. فشل كلوى.	ضعف العضلات، انخفاض ردود الفعل، الخمول. كبت أو فشل التنفس. انخفاض ضغط الدم، توقف القلب.
نقص المغنيسيوم ($Mg^{2+} < 1.5$ mEq/L)	الإدمان على الكحول؛ سوء امتصاص الأمعاء؛ سوء التغذية. القىء أ و الإسهال المزمن.بعض المدرات البولية. الرضاعة. الفشل ال كلوى.	فقدان الشهية، الخمول، الغثيان، القىء. ضعف العضلات، الرعشة، التش جات، التقلصات العضلية، التسمم العضلى. ارتفاع ضغط الدم، تسارع ضربات القلب، اضطراب نظم القلب

كونها من بين أسباب أو تأثيرات كل من فرط ونقص نفس الإلكتروليت. ولشرح ذلك بشكل كامل يتطلب فصلًا بحد ذاته. لذلك، يقدم الجدول 24.2 فقط بعض الأسباب والتأثيرات الشائعة بشكل خاص. كما أنه يتجاهل العديد من الأدوية والإجراءات السريرية)مثل الشفط المعدى والعلاج بالسوائل(التى يمكن أن تؤدى إلى اختلالات.)انظر التعمق 24.2 لمزيد من المناقشة حول العلاج بالسوائل.(مع بعض الاستثناءات القليلة، نركز على الأمراض التلقائية وسلوكيات المرضى — على سبيل المثال، المشكلة الشائعة للاستخدام السرى المفرط للملينات ومدرات البول من قبل الأشخاص المهووسين بفقدان الوزن، الذين غالبًا ما يوقعون أنفسهم فى اضطرابات خطيرة فى السوائل والإلكتروليتات وحمض-قاعدة.

تشمل المظاهر السريرية المدرجة هنا كلًا من العلامات)التأثيرات على المريض التى يمكن ملاحظتها من قبل الآخرين، مثل النوبات والغيبوبة(والأعراض)التأثيرات التى يشعر بها المريض فقط، مثل الصداع والغثيان والتوعك(. لا تحدث المظاهر المدرجة فى كل حالة من حالات الاختلال، أو حتى فى معظمها. فهى تختلف بشكل كبير حسب شدة الاختلال ومن مجموعة سكانية إلى أخرى — مثل الرضع، والبالغين الأصحاء، وكبار السن أو ذوى الإعاقات — وغالبًا ما تكون الاختلالات بدون أعراض أو تنتج علامات تُكتشف فقط فى تحاليل الدم أو تخطيط القلب الكهربائى.

بالنسبة لبعض المصطلحات فى هذا الجدول، قد تحتاج إلى الرجوع إلى وظائف الكلى أو مناقشات سابقة أخرى فى هذا الكتاب. الحماض والقلوية، المرتبطان باختلالات الإلكتروليت كسبب وتأثير، مفصلان فى القسم التالى)24.3(.
فقدان الشهية هو عدم وجود رغبة فى الأكل. التوعك هو شعور عام بعدم الراحة أو التعب، كما لو أن الشخص "سيصاب بشىء ما". العطش الشديد يعنى العطش المفرط والشرب؛ التبول المفرط، المرتبط غالبًا به، هو زيادة فى كمية البول.
التبول الليلى هو الاستيقاظ والحاجة إلى التبول أثناء الليل، وأحيانًا التبول اللاإرادى فى الأطفال والبالغين غير القادرين على التحكم.

نظرًا لأهمية الإلكتروليتات فى جهد غشاء الخلية وعمل الأعصاب والعضلات، غالبًا ما يكون للاختلالات مظاهر عصبية عضلية: التنميل، وهو الإحساس غير الطبيعى فى غياب التحفيز الخارجى، مثل الخدر أو الحرقان أو الوخز فى الأصابع؛ تشنجات العضلات، وهى تقلصات لا إرادية لألياف عضلية فردية؛ أو ردود فعل عضلية أكثر حدة مثل التشنجات والتصلب العضلى — وليس المرض البكتيرى، بل انقباض مستمر للعضلة دون ارتخاء.

إذا أثر على عضلات التنفس، يمكن أن يسبب التصلب العضلى توقف التنفس؛ وإذا تسبب فى شد عضلات الحنجرة، يمكن أن يسبب الموت بالاختناق. بعض اختلالات الإلكتروليت تسبب انحلال الربيدات، وهو موت ألياف العضلات، مما يؤدى إلى إطلاق محتوياتها فى مجرى الدم، مما قد يسد الكلى بالمايوغلوبين ويسبب فشلًا كلويًا.

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

6. ما هو التأثير الذى تعتقد أنه سيكون الأكثر خطورة، ولماذا—زيادة بمقدار 5 mEq/L فى تركيز الصوديوم أو البوتاسيوم أو الكلوريد أو الكالسيوم فى البلازما؟

7. أجب عن نفس السؤال بالنسبة لانخفاض بمقدار 5 mEq/L.

8. اشرح لماذا من المرجح أن يغير هرمون مضاد الإدرار ADH) أسمولارية بلازما الدم أكثر من الألدوستيرون.

9. اشرح لماذا يمكن أن يسبب نقص إفراز الألدوستيرون نقص كلور الدم (hypochloremia).

10. يمكن استخدام كبريتات المغنيسيوم، التى تُباع عادةً كملح إبسوم، كملح استحمام للاسترخاء العضلات المتوترة والمؤلمة. اشرح هذا التأثير فى ضوء ما تعلمته فى هذا القسم من الفصل.

11. لماذا هناك حاجة إلى المزيد من أيونات الفوسفات فى السائل داخل الخلايا)ICF(مقارنةً بالسائل خارج الخلايا)ECF(؟ كيف يؤثر ذلك على توزيع أيونات الكالسيوم بين هذه الحُجيرات السائلة؟

24.3 توازن الحمض والقاعدة

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادراً على

أ. عرف العازل)buffer(واكتب المعادلات الكيميائية لأنظمة العازل للكربونات، الفوسفات، والبروتينات؛

ب. ناقش العلاقة بين التهوية الرئوية، درجة الحموضة)pH(للسوائل خارج الخلوية، ونظام العازل للكربونات؛

ج. شرح كيف تفرز الكليتان أيونات الهيدروجين وكيف يتم عزل هذه الأيونات فى السائل الأنبوبى؛

د. تحديد بعض أنواع وأسباب الحماض والقلوية، ووصف تأثيرات هذه الاختلالات فى الرقم الهيدروجينى؛ و

هـ. شرح كيف يصحح الجهاز التنفسى والجهاز البولى الحماض والقلوية، ومقارنة فعاليتهما وقيودهما.

كما رأينا فى الفصل الثانى، يعتمد الأيض على عمل الإنزيمات، والإنزيمات حساسة جدًا لدرجة الحموضة)pH(. الانحرافات الطفيفة عن درجة الحموضة الطبيعية يمكن أن توقف المسارات الأيضية وكذلك تغير بنية ووظيفة الجزيئات الكبيرة الأخرى.
وبالتالى، فإن توازن الحمض والقاعدة هو أحد أهم جوانب التوازن الداخلى)الاستتباب(.
عادةً ما يكون دم الجسم وسوائل الأنسجة بدرجة حموضة تتراوح بين 7.35 و7.45. توازن الحمض والقاعدة هو حالة يتم فيها تنظيم درجة حموضة سوائل الجسم ضمن هذا النطاق بشكل استتبابى. هذا النطاق الضيق من التغير ملحوظ بالنظر إلى أن أيضنا ينتج باستمرار حمضًا: حمض اللاكتيك من التخمر اللاهوائى، والأحماض الفسفورية من تحلل الأحماض النووية، والأحماض الدهنية والكيتونات من تحلل الدهون، وحمض الكربونيك من ثانى أكسيد الكربون. هذه الأحماض تشكل تحديًا مستمرًا لوظيفة الإنزيمات، والتوازن الداخلى، والبقاء على قيد الحياة. هنا نستعرض آليات التخفيف)التعادل(التى تثبت درجة الحموضة الداخلية وتحافظ على توازن الحمض والقاعدة.

عند درجة حموضة 7.4، لا يمتلك نظام البيكربونات عادةً قدرة تخ
فيف قوية خارج الجسم. هذه الدرجة بعيدة جدًا عن درجة الحموضة ال
مثلى له وهي 6.1. إذا أضيف حمض قوي إلى كأس يحتوي على محلو
ل حمض الكربونيك-البيكربونات عند درجة حموضة 7.4، فإن التفاعل
السابق سيتحرك فقط قليلاً نحو اليسار. ستبقى كمية كبيرة من H^+ و
لن ترتفع درجة الحموضة بشكل كبير.
في الجسم، على العكس من ذلك، يعمل نظام البيكربونات بشكل جيد
جدًا لأن الرئتين والكليتين تزيلان ثاني أكسيد الكربون باستمرار وتمنعا
ن الوصول إلى حالة توازن. هذا يحافظ على تحرك التفاعل نحو اليسار،
ويتم تحييد المزيد من H^+. وعلى العكس، إذا كان هناك حاجة لخفض
درجة الحموضة، تقوم الكليتان بإفراز HCO_3^- وتحافظان على تحرك ه
ذا التفاعل نحو اليمين، مما يرفع تركيز H^+ في السائل خارج الخلايا. وه
كذا، يمكنك أن ترى أن العوامل المخففة الفيزيولوجية والكيميائية في
الجسم تعمل معًا للحفاظ على توازن الحمض والقاعدة.

▶▶▶ طبق ما تعرفه

في الدورة الدموية الجهازية، يحتوي الدم الشرياني على متوسط درج
ة حموضة 7.40، بينما يحتوي الدم الوريدي على متوسط 7.35. ما ر
أيك ما الذي يسبب هذا الاختلاف؟

نظام عازلة الفوسفات

نظام عازلة الفوسفات هو محلول من HPO_4^{2-} و$H_2PO_4^-$ يعمل بطري
قة مشابهة جدًا لنظام البيكربونات. يمكن أن تتجه التفاعل التالي إلى ا
ليمين لتحرير H^+ وخفض الرقم الهيدروجيني، أو يمكن أن يتجه إلى ا
ليسار لربط H^+ ورفع الرقم الهيدروجيني:

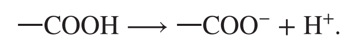


$$H_2PO_4^- \rightleftharpoons HPO_4^{2-} + H^+.$$

الرقم الهيدروجيني الأمثل لهذا النظام هو 6.8، وهو أقرب إلى الر
قم الهيدروجيني الفعلي للسائل خارج الخلية (7.4). وبالتالي، فإن نظام
عازلة الفوسفات له تأثير عازل أقوى من كمية متساوية من عازل البي
كربونات. ومع ذلك، فإن الفوسفات أقل تركيزًا بكثير في السائل خارج
الخلية مقارنة بالبيكربونات، لذا فهي أقل أهمية في عزل السائل خارج
الخلية. إنها أكثر أهمية في الأنابيب الكلوية والسائل داخل الخلية، حي
ث لا تكون فقط أكثر تركيزًا، بل يكون الرقم الهيدروجيني أقل وأقرب إ
لى الأمثل الوظيفي لها.
في السائل داخل الخلية، يؤدي الإنتاج المستمر للأحماض الأيضية إلى خ
لق قيم رقم هيدروجيني تتراوح بين 4.5 إلى 7.4، وربما بمتوسط 7.0.
سبب انخفاض الرقم الهيدروجيني في الأنابيب الكلوية سيتم مناقشته لاح
قًا.

نظام عازلة البروتين

البروتينات أكثر تركيزًا من كل من عوازل البيكربونات أو الفوسفات، خاصة في ا
لسائل داخل الخلية. نظام عازلة البروتين يمثل حوالي ثلاثة أرباع كل العزل الكيم
يائي في سوائل الجسم. تعود قدرة البروتينات على العزل إلى بعض المجموعا
ت الجانبية لبقايا الأحماض الأمينية الخاصة بها. بعض هذه المجموعات تحتوي
على مجموعات كربوكسيل جانبية (—COOH)، التي تطلق H^+ عندما ي
بدأ الرقم الهيدروجيني في الارتفاع وبالتالي تخفض الرقم الهيدروجيني:



$$—COOH \longrightarrow —COO^- + H^+.$$

24.3a الأحماض والقواعد والعوازل

يتم تحديد الرقم الهيدروجيني للمحلول فقط بواسطة أيونات الهيدروج
ين (H^+). الحمض هو أي مادة كيميائية تطلق H^+ في المحلول. الحم
ض القوي مثل حمض الهيدروكلوريك (HCl) يتأين بحرية، ويعطي مع
ظم أيونات الهيدروجين الخاصة به، ويمكن أن يخفض الرقم الهيدروج
يني للمحلول بشكل ملحوظ. الحمض الضعيف مثل حمض الكربونيك
(H_2CO_3) يتأين بشكل طفيف فقط ويحتفظ بمعظم الهيدروجين في
شكل مرتبط كيميائيًا لا يؤثر على الرقم الهيدروجيني. القاعدة هي أي م
ادة كيميائية تقبل H^+. القاعدة القوية مثل أيون الهيدروكسيد (OH^-)
لديها ميل قوي لربط H^+ ورفع الرقم الهيدروجيني، في حين أن القاعد
ة الضعيفة مثل أيون البيكربونات (HCO_3^-) تربط كمية أقل من H^+ الم
تاحة ولها تأثير أقل على الرقم الهيدروجيني.

العازل، بشكل عام، هو أي آلية تقاوم تغيرات الرقم الهيدروجيني
عن طريق تحويل حمض أو قاعدة قوية إلى حمض أو قاعدة ضعيفة. ل
دى الجسم عوازل فسيولوجية وكيميائية. العازل الفسيولوجي هو نظام
—أي الجهاز التنفسي أو البولي—يعمل على تثبيت الرقم الهيدروجين
ي من خلال التحكم في إخراج الجسم للأحماض أو القواعد أو CO_2 م
ن بين جميع أنظمة العزل، يقوم النظام البولي بعزل أكبر كمية من الح
مض أو القاعدة، لكنه يحتاج إلى عدة ساعات إلى أيام ليؤثر. أما الجهاز
التنفسي فيؤثر خلال دقائق قليلة لكنه لا يستطيع تغيير الرقم الهيدرو
جيني بقدر ما يستطيع النظام البولي.

العازل الكيميائي هو مادة تربط H^+ وتزيله من المحلول عندما ي
بدأ تركيزه في الارتفاع، أو تطلق H^+ إلى المحلول عندما ينخفض تركيز
ه. يمكن للعوازل الكيميائية استعادة الرقم الهيدروجيني الطبيعي خلا
ل جزء من الثانية.
تعمل كُتَل مخلوطة تُسمى أنظمة العازلة تتكون من حمض ضعيف
وقاعدة ضعيفة. لدينا ثلاثة أنظمة عازلة كيميائية رئيسية — نظام البي
كربونات، ونظام الفوسفات، ونظام البروتين.

تعتمد كمية الحمض أو القاعدة التي يمكن تحييدها بواسطة نظام
العازل الكيميائي على عاملين: تركيز العوازل ودرجة الحموضة (pH) ل
بيئتها العملية. لكل نظام درجة حموضة مثالية يعمل عندها بأفضل
شكل؛ وتقل فعاليته بشكل كبير إذا انحرفت درجة الحموضة في بيئته
بعيدًا جدًا عن هذه القيمة. ستتضح أهمية هذه العوامل عند دراسة أن
ظمة العزل التالية.

نظام عازل البيكربونات

نظام عازل البيكربونات هو محلول من حمض الكربونيك وأيونات البي
كربونات. كما نرى في تفاعل حمض الكربونيك، يتكون حمض الكربون
يك (H_2CO_3) من تفاعل ثاني أكسيد الكربون مع الماء، ثم ينفصل إلى
بيكربونات (HCO_3^-) وأيونات H^+:



$$CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3 \rightleftharpoons HCO_3^- + H^+.$$

هذا تفاعل قابل للعكس. عندما يتجه التفاعل نحو اليمين، يعمل
حمض الكربونيك كحمض ضعيف عن طريق إطلاق H^+ وخفض درجة
الحموضة. وعندما يتجه التفاعل نحو اليسار، يعمل البيكربونات كقاعد
ة ضعيفة عن طريق ربط H^+، وإزالة الأيونات من المحلول، ورفع درجة
الحموضة.

الخلايا؛ بل إن H^+ ينتقل في شكل حمض الكربونيك وجزيئات الماء
.

يحدث إفراز الأنبوب لـ H^+ في الخطوة 6، حيث يتم ضخ الأيون خا
رج خلية الأنبوب إلى السائل الأنبوبي.
يمكن أن يحدث هذا فقط إذا كان هناك تدرج تركيز حاد بما فيه الكفا
ية بين تركيز عالٍ من H^+ داخل الخلية وتركيز أقل في السائل الأنبوبي
. إذا انخفض الرقم الهيدروجيني للسائل الأنبوبي إلى أقل من 4.5، ي
صبح تركيز H^+ في السائل مرتفعًا جدًا بحيث يتوقف الإفراز الأنبوبي.
وبالتالي، فإن الرقم الهيدروجيني 4.5 هو الحد الأقصى للإفراز الأنبوبي.
لهذا الأمر أهمية إضافية لاحقًا في مناقشتنا.

في شخص يتمتع بتوازن حمضي-قاعدي طبيعي، يتم استهلاك ج
ميع أيونات البيكربونات (HCO_3^-) في السائل الأنبوبي عن طريق معاد
لة H^+؛ وبالتالي لا يوجد HCO_3^- في البول. يتم ترشيح أيونات البيكربو
نات بواسطة الكبيبة، وتختفي تدريجياً من السائل الأنبوبي، وتظهر في
دم الشعيرات الدموية المحيطة بالأنابيب.

يبدو كما لو أن HCO_3^- يتم إعادة امتصاصه بواسطة الأنابيب الكلوية،
لكن هذا ليس صحيحًا؛ في الواقع، الأنابيب الكلوية غير قادرة على إعا
دة امتصاص HCO_3^- مباشرة. ومع ذلك، تحتوي خلايا النبيب القريب
المتعرج على إنزيم الكاربونيك أنهيدراز (CAH) على حدودها الفرشية ا
لمواجهة للّمعة. هذا الإنزيم يكسر H_2CO_3 في السائل الأنبوبي إلى CO_2
+ H_2O (الخطوة 10). إن ما يُعاد امتصاصه هو CO_2 وليس البيكر
بونات. ومع ذلك، لكل CO_2 يُعاد امتصاصه، يتم تكوين أيون بيكربونا
ت جديد في خلية النبيب ويتم إطلاقه في الدم (الخطوة 5). والتأثير هو
نفسه كما لو أن خلايا النبيب قد أعادت امتصاص البيكربونات نفسها
.

لاحظ أنه مقابل كل أيون بيكربونات يدخل الشعيرات الدموية الم
حيطة بالنبيب، يدخل أيضًا أيون صوديوم. وبالتالي، فإن إعادة امتصا
ص Na^+ بواسطة الأنابيب الكلوية هي جزء من عملية تحييد الحمض.
كلما زاد الحمض الذي تفرزه الكلى، قل محتوى البول من الصوديوم.

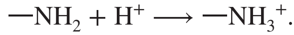
تفرز الأنابيب كمية من H^+ تفوق قليلاً ما يمكن للبيكربونات الم
تاحة تحييده. لذلك يحتوي البول على فائض طفيف من H^+ الحر، مما
يمنحه درجة حموضة حوالي 5 إلى 6.
ومع ذلك، إذا بقي كل فائض H^+ الذي تفرزه الأنابيب في هذا الشكل ا
لأيوني الحر، فإن درجة حموضة السائل الأنبوبي ستنخفض إلى ما دون
الحد الأدنى لدرجة الحموضة 4.5، وستتوقف عملية إفراز H^+.
يجب منع ذلك، وهناك عوازل إضافية في السائل الأنبوبي للقيام بذل
ك.

يحتوي الترشيح الكبيبي على Na_2HPO_4 (فوسفات الصوديوم ثنا
ئي القاعدة)، الذي يتفاعل مع بعض H^+ (الشكل 24.11). يحل أيون ا
لهيدروجين محل أحد أيونات الصوديوم في العازل، مكونًا NaH_2PO_4 (
فوسفات الصوديوم أحادي القاعدة). يتم طرح هذا في البول، ويتم نقل
Na^+ المزاح إلى خلية النبيب ومن هناك إلى مجرى الدم.

بالإضافة إلى ذلك، تقوم خلايا النبيب بتحليل بعض الأحماض الأ
مينية وتطلق الأمونيا (NH_3) كمنتج. تنتشر الأمونيا إلى السائل الأنبو
بي، حيث تعمل كقاعدة لتحييد الحمض. تتفاعل مع H^+ وCl^- (وهو أ
كثر الأنيونات وفرة في الترشيح الكبيبي) لتكوين كلوريد الأمونيوم (NH_4Cl)، الذي يُطرح في البول.

نظرًا لوجود كمية كبيرة من الكلوريد في السائل الأنبوبي، قد تتساء
ل لماذا لا يُطرح H^+ ببساطة على شكل حمض الهيدروكلوريك (HCl).
لماذا يتم إشراك الأمونيا؟ السبب هو أن HCl هو حمض قوي—
فهو يتفكك تقريبًا بالكامل، لذا فإن معظم الهيدروجين الخاص به سيكون

البعض مجموعات أمينية جانبية ($—NH_2$)، التي ترتبط بـ H^+ عندما تنخفض
درجة الحموضة كثيراً، مما يرفع درجة الحموضة نحو
الطبيعي:



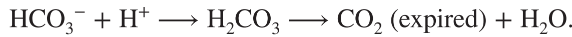
$$—NH_2 + H^+ \longrightarrow —NH_3^+.$$

▶▶▶ طبق ما تعرفه
ما هو البروتين الذي تعتقد أنه أهم عازل في بلازما الدم؟ وفي كر
يات الدم الحمراء؟

24.3b التحكم التنفسي في درجة الحموضة

يعدل نظام العزل التنفسي درجة حموضة سوائل الجسم عن طريق ر
فع أو خفض معدل وعمق التنفس. تُظهر المعادلة الخاصة بنظام عازل
البيكربونات أن إضافة CO_2 إلى سوائل الجسم ترفع تركيز H^+ وتخف
ض درجة الحموضة، بينما يؤدي إزالة CO_2 إلى العكس. وهذا هو أسا
س القدرة العازلة القوية للجهاز التنفسي.

في الواقع، يمكن لهذا النظام أن يعادل حمضًا بمقدار مرتين أو ثلاث مرات أكثر
مما تستطيع العوازل الكيميائية تحييده.
يتم إنتاج ثاني أكسيد الكربون باستمرار بواسطة الأيض الهوائي و
يتم التخلص منه عادةً عن طريق الرئتين بمعدل مكافئ. كما هو موض
ح في الفصل 22، فإن ارتفاع تركيز CO_2 وانخفاض الرقم الهيدروجيني
يحفزان مستقبلات كيميائية طرفية ومركزية، والتي تحفز زيادة في ال
تهوية الرئوية. هذا يؤدي إلى طرد فائض CO_2 وبالتالي يقلل من تركيز
H^+. يصبح H^+ الحر جزءًا من جزيئات الماء التي تنتجها هذه التفاعل:



$$HCO_3^- + H^+ \longrightarrow H_2CO_3 \longrightarrow CO_2\ (\text{expired}) + H_2O.$$

على العكس من ذلك، يؤدي انخفاض تركيز H^+ إلى رفع الرقم الهيدروجيني
ي وتقليل التهوية الرئوية. هذا يسمح بتراكم CO_2 الأيضي في السائل خارج الخل
ية (ECF) بسرعة أكبر من طرده، مما يخفض الرقم الهيدروجيني إلى المستوى ا
لطبيعي.
هذه آليات ردود فعل سلبية كلاسيكية تؤدي إلى التوازن الحمضي ا
لقاعدي. ومع ذلك، فإن التحكم التنفسي في الرقم الهيدروجيني له بعض
القيود التي سيتم مناقشتها لاحقًا تحت اضطرابات التوازن الحمضي ا
لقاعدي.

24.3ج التحكم الكلوي في الرقم الهيدروجيني (pH)

يمكن للكليتين تحييد المزيد من الحمض أو القاعدة مقارنةً بالجهاز ال
تنفسي أو العوازل الكيميائية. وتتم هذه العملية عن طريق تغيير كمية
الحمض التي يتم التخلص منها في البول. جوهر هذه الآلية هو أن الأنا
بيب الكلوية تفرز H^+ إلى السائل الأنبوبي، حيث يرتبط معظمها بعوا
ل البيكربونات والأمونيا والفوسفات. ثم يتم طرح H^+ المرتبط والحُر
في البول. وهكذا، فإن الكليتين، على عكس الرئتين، تقومان فعليًا بط
رد H^+ نفسه من الجسم. أما أنظمة العزل الأخرى فتقلل فقط من ترك
يزه عن طريق ربطه بمادة كيميائية أخرى.

الشكل 24.10 يوضح كيف تقوم الأنابيب الكلوية بإفراز
وتعادل أيونات الهيدروجين H^+. تم تلوين أيونات الهيدروجين لتتمكن من تتبعها
من الدم (الخطوة 1) إلى السائل الأنبوبي (الخطوة 6). لاحظ أنه
ليس مجرد مسألة نقل أيونات H^+ الحرة عبر الأنابيب

1. يتفاعل H^+ في الدم مع HCO_3^- لتكوين H_2CO_3.
2. يتحلل H_2CO_3 إلى H_2O و CO_2، اللذين يدخلان إلى خلية النبيب.
3. تحصل خلايا النبيب على CO_2 م نالدم، والسائل النبيبي، والتنفس اللاّ وائي الخاص بها.
4. تجمع أنزيم الكربونيك أنهيدراز (CAH) بين H_2O وCO_2 لإعادة تكوين H_2CO_3.
5. يتأين H_2CO_3 ليشكل HCO_3^- (الذي يعود إلى الدم) وH^+.
6. مبادل مضاد Na^+-H^+ يستبدل H^+ بـ Na^+.
7. $NaHCO_3$ من الترشيح الكبيبي يتحلل إلى Na^+ و HCO_3^-. يتم ضخ Na^+ إلى خلية النبيب.
8. يتم إزالة Na^+ بواسطة مضخة Na^+-K^+ في قاعدة الخلية.
9. يتفاعل HCO_3^- مع H^+ من خلية النبيب لتكوين H_2CO_3.
10. إنزيم CAH على الحدود الفرشية يحلل H_2CO_3 إلى H_2O و CO_2 مرة أخرى.
11. يدخل CO_2 إلى خلية النبيب ويمر H_2O في البول (حاملاً H^+ الذي كان في الأصل في الدم).

الشكل 24.10 إفراز وتعادل أيونات الهيدروجين في الكلى. تسمح لك رموز الهيدروجين الملونة بتتبع الهيدروجين من H^+ في الدم إلى H_2O في البول.

إذا انخفض الرقم الهيدروجيني للسائل الأنبوبي، كيف سيتغير تركيز Na^+ فيه؟

(الشكل 24.13أ). يتم عزل أيونات الهيدروجين H^+ بواسطة البروتينات داخل الخلايا، لذا فإن هذا التبادل يؤدي إلى فقدان صافٍ للأيونات الموجبة من الخلية. هذا يجعل جهد الغشاء الراكد أكثر سلبية من المعتاد (فرط الاستقطاب) ويجعل خلايا الأعصاب والعضلات أكثر صعوبة في التحفيز. لهذا السبب يثبط الحماض الجهاز العصبي المركزي ويسبب أعراضًا مثل الارتباك، فقدان الاتجاه، والغيبوبة.

في القلاء، يكون تركيز H^+ خارج الخلية منخفضًا. تنتشر أيونات الهيدروجين خارج الخلايا ويدخل K^+ ليحل محلها (الشكل 24.13ب). الزيادة الصافية في الشحنات الموجبة داخل الخلية تُقرب جهد الغشاء من مستوى الإطلاق وتجعل الجهاز العصبي مفرط الإثارة. تطلق الخلايا العصبية إشارات بشكل تلقائي وتفرط في تحفيز العضلات الهيكلية، مما يسبب تشنجات عضلية، التشنج، النوبات، أو شلل التنفس.

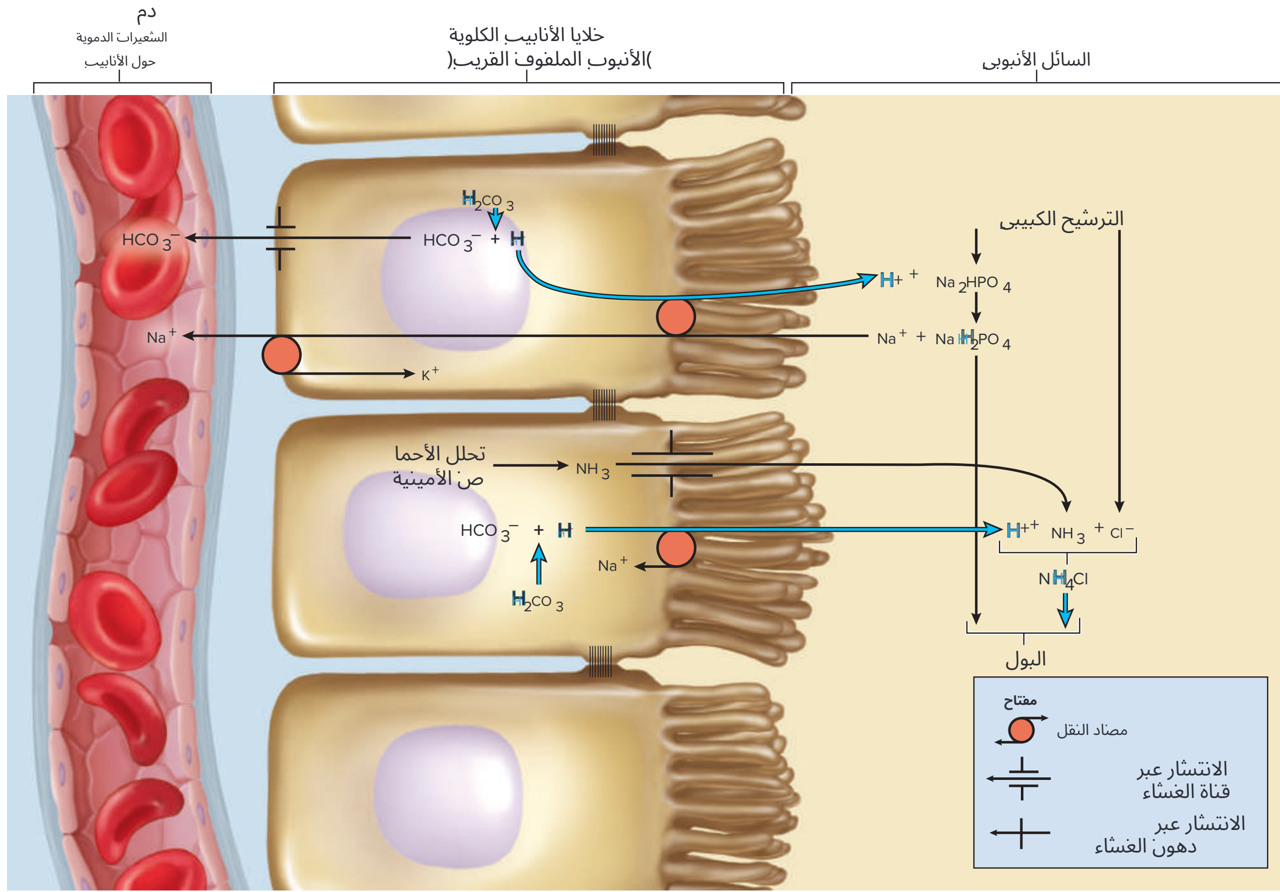
تندرج اختلالات الحمض-قاعدة ضمن فئتين، التنفسية والتمثيلية (الجدول 24.3). يحدث الحماض التنفسي عندما يفشل معدل تهوية السنخية في مواكبة معدل إنتاج CO_2 في الجسم. يتراكم ثاني أكسيد الكربون في السائل خارج الخلية ويخفض درجة الحموضة فيه. يحدث هذا في حالات مثل النفاخ الرئوي، حيث يكون هناك انخفاض شديد في

يكون على شكل H^+ حر. سينخفض الرقم الهيدروجيني للسائل الأنبوبي أدنى من الرقم الهيدروجيني الحدّي ويمنع إفراز المزيد من الحمض. كلوريد الأمونيوم، بالمقابل، هو حمض ضعيف—معظم هيدروجينه يبقى مرتبطًا به ولا يخفض الرقم الهيدروجيني للسائل الأنبوبي.

24.3د اضطرابات توازن الحمض-قاعدة

يمثل الشكل 24.12 توازن الحمض-قاعدة باستخدام استعارة تعليمية تُظهر اعتماده على نظام عازلة البيكربونات. عند الرقم الهيدروجيني الطبيعي 7.4، يحتوي السائل خارج الخلية على نسبة 20:1 من HCO_3^- إلى H_2CO_3. تقوم أيونات الهيدروجين الزائدة بتحويل HCO_3^- إلى H_2CO_3 وتُزاح الميزان إلى رقم هيدروجيني أقل. يُعتبر الرقم الهيدروجيني أقل من 7.35 حالة حماض. من ناحية أخرى، يؤدي نقص H^+ إلى تفكك H_2CO_3 إلى H^+ وHCO_3^- مما يُزاح الميزان إلى رقم هيدروجيني أعلى. الرقم الهيدروجيني الأعلى من 7.45 هو حالة قلاء. أي من هذين الاختلالين له تأثيرات قد تكون مميتة. لا يستطيع الإنسان العيش لأكثر من بضع ساعات إذا كان الرقم الهيدروجيني للدم أقل من 7.0 أو أعلى من 7.7، والرقم الهيدروجيني أقل من 6.8 أو أعلى من 8.0 يكون قاتلًا بسرعة.

في الحماض، تنتشر أيونات H^+ باتجاه تركيزها داخل الخلايا، وللحفاظ على التوازن الكهربائي، تنتشر أيونات K^+ خارج



الشكل 24.11 تخزين الحمض في البول. التفاعلات في خلايا الأنابيب هي نفسها كما في الشكل 24.10 ولكنها مبسطة في هذا الرسم. الاختلافات الأساسية هي آليات التخزين الموضحة في السائل الأنبوبي. تم تلوين رموز الهيدروجين للسماح بتتبعها من حمض الكربونيك إلى البول.

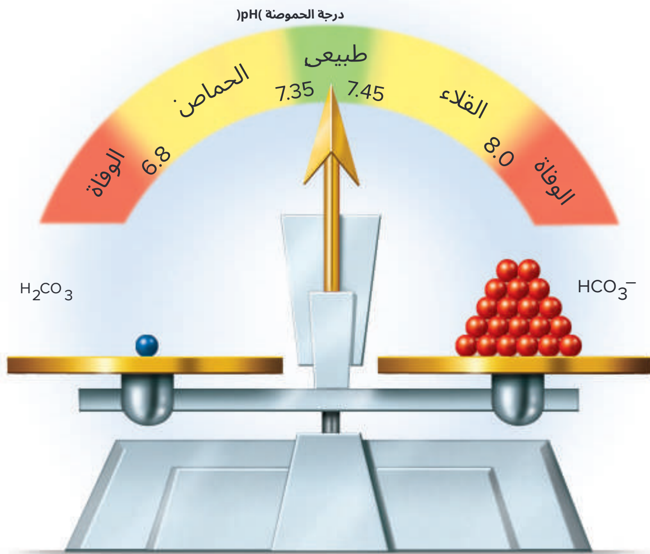
عدد الحويصلات الهوائية الوظيفية. القلاء التنفسي ينتج عن فرط التنفس، حيث يتم التخلص من CO_2 أسرع مما يُنتج.

الحماض الأيضي يمكن أن ينتج عن زيادة إنتاج الأحماض العضوية، مثل حمض اللاكتيك في التخمر اللاهوائي وأجسام الكيتون في إدمان الكحول ومرض السكري. كما يمكن أن ينتج عن تناول مفرط للأدوية الحمضية مثل الأسبرين أو من فقدان القاعدة بسبب الإسهال المزمن أو الإفراط في استخدام الملينات. عادةً ما يظهر الأشخاص المحتضرون أيضًا الحماض. القلاء الأيضي نادر لكنه يمكن أن ينتج عن الإفراط في استخدام البيكربونات (مثل مضادات الحموضة الفموية ومحاليل البيكربونات الوريدية) أو من فقدان حمض المعدة بسبب القيء المزمن.

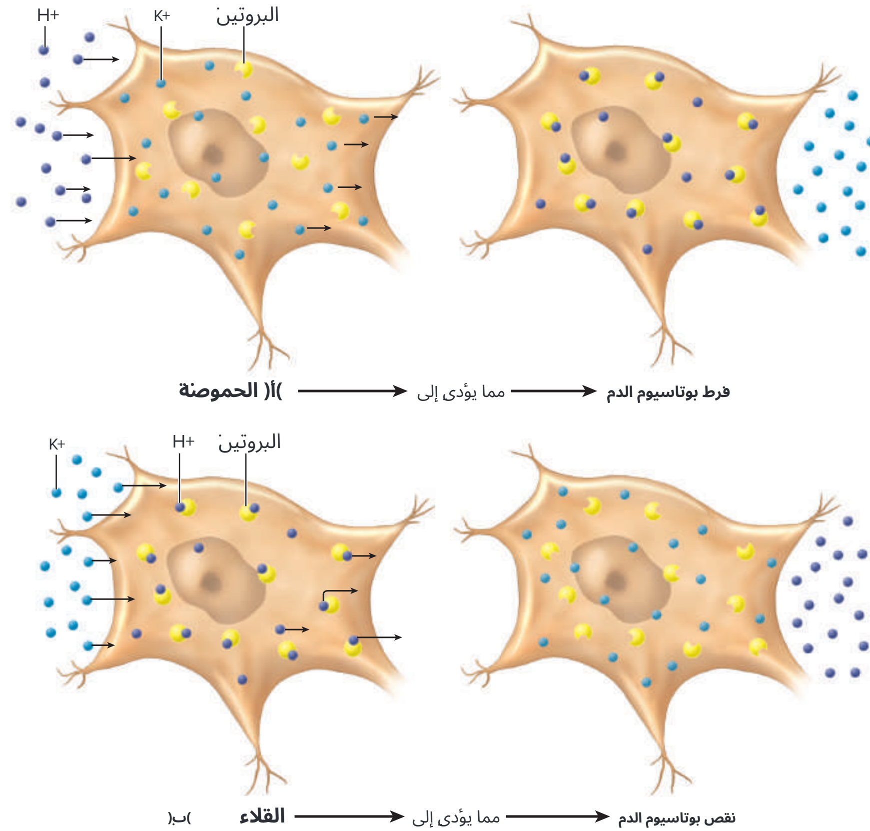
24.3e التعويض عن اختلالات الحمض-القاعدة

في الحماض أو القلاء المعوض يعوض الكلى عن اختلالات الرقم الهيدروجيني ذات الأصل التنفسي، أو يعوض الجهاز التنفسي عن اختلالات الرقم الهيدروجيني ذات الأصل الأيضي. الحماض أو القلاء غير المعوض هو اختلال في الرقم الهيدروجيني لا يستطيع الجسم تصحيحه دون تدخل طبي.

في التعويض التنفسي، تصحح التغيرات في التهوية الرئوية الرقم الهيدروجيني لسوائل الجسم عن طريق طرد أو احتجاز



الشكل 24.12 علاقة نسبة بيكربونات-حمض الكربونيك إلى الرقم الهيدروجيني (pH). عند الرقم الهيدروجيني الطبيعي 7.40، تكون نسبة أيونات البيكربونات (HCO_3^-) إلى حمض الكربونيك (H_2CO_3) في بلازما الدم 20:1. زيادة HCO_3^- تميل بالتوازن نحو القلاء، بينما زيادة H_2CO_3 تميل بالتوازن نحو الحموضة.



الشكل 24.13 العلاقة بين اختلالات الحمض-القاعدة واختلالات البوتاسيوم.)أ(في حالة الحموضة، ينتشر H^+ إلى داخل الخلايا ويدفع K^+ للخارج، مما يرفع تركيز K^+ في السائل خارج الخلية)ECF(.)ب(في حالة القلاء، ينتشر H^+ خارج الخلايا ويدخل K^+ ليحل محله، مما يخفض تركيز K^+ في السائل خارج الخلية)ECF(.

كيف ستغير الجزء)أ(لتوضيح تأثير فرط بوتاسيوم الدم على الرقم الهيدروجيني للسائل خارج الخلية)ECF(؟

الجدول 24.3 بعض أسباب الحماض والقلاء

	الحماض	القلاء
تنفسي	نقص التهوية، توقف التنفس، أو توقف التنفس؛ الربو؛ النفاخ الرئوي؛ التليف الكيسي ؛ التهاب الشعب الهوائية المزمن؛ جرعة زائدة من المخدرات	فرط التنفس بسبب الألم أو المشاعر مثل القلق؛ نقص الأكسجين)كما في الارتفاعات العالية(
تمثيلي	الإنتاج الزائد للأحماض العضوية كما في داء السكري والجوع؛ التخمر اللاهوائي طويل الأمد؛ فرط بوتاسيوم الدم؛ الإسهال المزمن؛ استهلاك الكحول المفرط؛ أدوية مثل الأسبرين والملينات	نادر لكنه قد ينتج عن القيء المزمن؛ الإفراط في استخدام البيكربونات)مضادات الحموضة(؛ فرط إفراز الألدوستيرون

التعويض الكلوي هو تعديل لدرجة الحموضة عن طريق تغيير معدل إفراز أيونات الهيدروجين)H^+(بواسطة الأنابيب الكلوية. الكلى أبطأ في الاستجابة لاختلالات درجة الحموضة لكنها أفضل في استعادة درجة الحموضة الطبيعية بالكامل. عادةً ما يكون البول ذو درجة حموضة بين 5 و6، ولكن في حالة الحماض قد ينخفض إلى 4.5 بسبب زيادة أيونات الهيدروجين)H_+(، بينما في القلاء قد يرتفع إلى 8.2 بسبب زيادة بيكربونات الصوديوم)$HCO3^-$(. لا تستطيع الكلى أن تتصرف بسرعة كافية لتعويض اختلالات درجة الحموضة قصيرة الأمد، مثل الحماض الناتج عن نوبة ربو تستمر ساعة أو ساعتين، أو القلاء الناتج عن نوبة قصيرة من فرط التنفس العاطفي. ومع ذلك، فهي فعالة في التعويض عن اختلالات درجة الحموضة التي تستمر لأيام أو أكثر، كما قد يحدث في أمراض مزمنة مثل انتفاخ الرئوي)الامفيزيما(.

في حالة الحماض، تزيد الأنابيب الكلوية من معدل إفراز أيونات الهيدروجين)H^+(.

يجب تعويض أيونات الهيدروجين)H^+(الزائدة في السائل الأنبوبي؛ وإلا فإن

ثاني أكسيد الكربون. في الحماض الأيضي، يزداد التهوية الرئوية لطرد فائض ثاني أكسيد الكربون وضبط درجة حموضة الدم نحو الطبيعي. في القلاء الأيضي، يتم تقليل التهوية للسماح بتراكم ثاني أكسيد الكربون وتخفيض درجة الحموضة.

هذا فعال جدًا في تصحيح اختلالات درجة الحموضة الناتجة عن ارتفاع أو انخفاض ضغط ثاني أكسيد الكربون غير الطبيعي، لكنه ليس فعالًا حدًا في تصحيح الأسباب الأخرى للحماض والقلاء. على سبيل المثال، في الحماض السكري، لا تستطيع الرئتان تقليل تركيز أجسام الكيتون في الدم، على الرغم من إمكانية التعويض جزئيًا عن أيونات الهيدروجين)H^+(التي تفرزها الكيتونات بزيادة التهوية الرئوية وطرد ثاني أكسيد الكربون الزائد.

يمكن للجهاز التنفسي تعديل درجة حموضة الدم من 7.0 إلى 7.2 أو 7.3 و لكن ليس إلى المستوى الطبيعي الكامل 7.4. وعلى الرغم من أن الجهاز التنفسي يمتلك تأثيرًا قويًا في التخفيف، فإن قدرته على استقرار درجة الحموضة محدودة.

الجدول 24.4 بعض العلاقات بين اختلالات السوائل والإلكتروليتات والحمض-القاعدة

السبب	التأثير المحتمل	السبب
+ H ينتشر إلى داخل الخلايا ويزيح K^+)انظر الشكل 24.13أ(. مع خروج K^+ من السائل داخل الخلايا، ترتفع تركيزات K^+ في السائل خارج الخلايا.	← فرط بوتاسيوم الدم	الحماض
العكس مما سبق؛ تركيز عالٍ من K^+ في السائل خارج الخلايا يسبب تقليل انتشار K^+ خارج الخلايا مقارنة بالوضع الطبيعي. ينتشر H^+ للخارج لتعويض ذلك، مما يخفض الرقم الهيدروجيني للسائل خارج الخلايا.	← الحماضية	فرط بوتاسيوم الدم
+ H ينتشر من السائل داخل الخلايا إلى السائل خارج الخلايا. يبقى المزيد من K^+ داخل السائل داخل الخلايا لتعويض فقدان H^+، مما يسبب انخفاض تركيز K^+ في السائل خارج الخلايا)انظر الشكل 24.13ب(.	← نقص بوتاسيوم الدم	القلاء
على العكس من السطر السابق؛ تركيز منخفض لـ K^+ في السائل خارج الخلية يسبب انتشار K^+ خارج الخلايا. + H ينتشر ليحل محل K+، مما يقلل من تركيز H+ في السائل خارج الخلوي ويرفع درجة الحموضة)pH(الخاصة به.	← القلوية	نقص بوتاسيوم الدم
يتم إفراز المزيد من Cl− على شكل NH4Cl لتعديل الحمض الزائد في الأنابيب الكلوية، مما يترك كمية أقل من Cl− في السائل خارج الخلوي.	← نقص كلور الدم)Hypochloremia(	الحماض
يتم إعادة امتصاص المزيد من Cl− من الأنابيب الكلوية، لذلك يتراكم Cl− المتناول في السائل خارج الخلوي بدلاً من إفرازه.	← فرط كلور الدم)Hyperchloremia(	القلاء
يتم الاحتفاظ بالمزيد من H+ في الدم لموازنة زيادة Cl−، مما يسبب الحُماض الناتج عن فرط كلور الدم.	فرط كلور الدم)Hyperchloremia(← الحُماض)Acidosis(	
يتم إعادة امتصاص المزيد من Na+ بواسطة الكلى. إعادة امتصاص Na+ مرتبطة بإفراز H+)انظر الشكل 24.10(، لذلك يتم إفراز المزيد من H+ وترتفع درجة الحموضة)pH(في السائل خارج الخلوي.	← القلوية	نقص حجم الدم
يتم إعادة امتصاص كمية أقل من Na+، لذلك يتم إفراز كمية أقل من H+ في الأنابيب الكلوية. H+ المحتجز في السائل خارج الخلوي يسبب الحُماض.	← الحماضية	فرط حجم الدم)Hypervolemia(
القلاء يسبب ارتباط المزيد من أيونات Ca^{2+} ببروتينات البلازما وأيونات السترات، مما يقلل من تركيز الكالسيوم الحر المؤين Ca^{2+} ويسبب أعراض نقص كالسيوم الدم.	← نقص كالسيوم الدم	القلاء
الحماض يسبب انفصال المزيد من أيونات Ca^{2+} عن بروتينات البلازما وأيونات السترات، مما يرفع تركيز الكالسيوم الحر Ca^{2+}.	← فرط كالسيوم الدم	الحماض

لأن كلًا من هذه العوامل يؤثر غالبًا على العاملين الآخرين. يوضح الجد ول 24.4 بعض هذه التفاعلات ويشرحها. هذه ليست قائمة كاملة لك يفية تأثير السوائل والإلكتروليتات ودرجة الحموضة على بعضها البع ض، لكنها توضح ترابطها. لاحظ أن العديد من هذه العلاقات متبادلة — على سبيل المثال، يمكن أن يسبب الحماض فرط بوتاسيوم الدم، وبالمقابل، يمكن لفرط بوتاسيوم الدم أن يسبب الحماض.

قبل المتابعة

أجب أو أكمل ما يلي لاختبار فهمك للقسم السابق:

12. اكتب معادلتين كيميائيتين توضحان كيف يعوض نظام عازلة البيكربونات عن الحماض والقلوية، ومعادلتين توضحان كيف يعوض نظام عازلة الفوسفات عن هذه الاختلالات
.
13. لماذا تكون عوازل الفوسفات أكثر فعالية في السيتوبلازم منها في بلازما الدم؟
14. لا تستطيع الأنابيب الكلوية إعادة امتصاص HCO ـ3 ومع ذلك، ينخ فض تركيز HCO3ـ في السائل الأنبوبي، بينما يرتفع في بلازما الدم. فسّر هذا التناقض الظاهر.
15. في حالة الحماض، تفرز الأنابيب الكلوية المزيد من الأمونيا. لماذا؟

درجة حموضة السائل قد تتجاوز الحد المسموح به ويتوقف إفراز أيونات الهيدرو جين)H^+(. لذلك، في حالة الحماض، تفرز الأنابيب الكلوية المزيد من الأمونيا ل تعويض أيونات الهيدروجين)H^+(المضافة، وقد يرتفع تركيز كلوريد الأمونيوم ف ي البول إلى 7 إلى 10 أضعاف المعدل الطبيعي.

طبِّق ما تعرفه

افترض أنك قمت بقياس درجة الحموضة وتركيز كلوريد الأمونيو م في بول شخص يعاني من النفاخ الرئوي)الامفيزيما(وبول شخ ص سليم. كيف تتوقع أن تختلف النتائج بينهما، ولماذا؟

في حالة القلاء، يرتفع تركيز البيكربونات ودرجة حموضة البول. و يرجع ذلك جزئيًا إلى وجود المزيد من HCO ـ3 في الدم ومرشح الكبيبة، وجزئيًا لأن هناك نقصًا في H^+ في السائل الأنبوبي لتحييد كل HCO ـ3 في المرشح.

24.3f اختلالات الحمض-القاعدة المتعل قة باضطرابات الإلكتروليت والسوائل

تؤكد المناقشة السابقة مرة أخرى على نقطة ذُكرت في بداية هذا الف صل — لا يمكننا فهم أو علاج اختلالات السوائل أو الإلكتروليتات أو توازن الحمض-القاعدة بمعزل عن بعضها البعض،

تشنجات وريدية مؤلمة، وحتى زيادة صغيرة فى البوتاسيوم يمكن أن تسبب توق ف القلب. لا يجب أبدًا إعطاء محاليل عالية البوتاسيوم للمرضى الذين يعانون من فشل كلوى أو الذين لا يُعرف وضعهم الكلوى، لأنه فى غياب طرح البوتاسيوم عن طريق الكلى، يمكن أن يؤدى ذلك إلى فرط بوتاسيوم الدم القاتل. يجب أيضًا إعطاء محلول لاكتات رينجر أو كلوريد البوتاسيوم بحذر شديد، مع مراقبة دقيقة لرقم اله يدروجينى فى الدم، لتجنب التسبب فى اختلال الرقم الهيدروجينى المعاكس للاخ تلال الذى كان من المفترض تصحيحه. يسبب الكثير من لاكتات رينجر القلاء، ويؤ دى الكثير من KCl إلى الحُماض.

موسعات حجم البلازما هى محاليل مفرطة التوتر أو كولloيدات تُحتفظ بها فى مجرى الدم وتجذب الماء الخلالى إليه عن طريق الاسموز. تشمل الألبومين، السكر وز، المانيتول، والدكستران. تُستخدم موسعات البلازما أيضًا لمكافحة الترطيب م نخفض التوتر عن طريق سحب الماء من الخلايا المنتفخة، مما يمنع مشاكل مثل ا لنوبات والغيبوبة. يمكن لموسع البلازما أن يسحب عدة لترات من الماء من الحجم داخل الخلوى خلال دقائق قليلة.

غالبًا ما يُعطى المرضى الذين لا يستطيعون الأكل محلول الجلوكوز المتساوى ا لتوتر 5%. يفقد المريض الصائم ما يصل إلى 70 إلى 85 جرامًا من البروتين يوميًا من الأنسجة حيث يتم تكسير البروتين لتغذية الأيض.
إعطاء 100 إلى 150 جرامًا من الجلوكوز الوريدى يوميًا يقلل هذا بمقدار النصف و يقال إنه له تأثير توفير البروتين. فى بعض الحالات، يحتاج الأمر إلى أكثر من الج لوكوز — على سبيل المثال، إذا لم يأكل المريض لعدة أيام ولا يمكن تغذيته عن طر يق أنبوب أنفى معدى)بسبب آفات فى الجهاز الهضمى، على سبيل المثال(أو إذا كانت هناك حاجة إلى كميات كبيرة من المغذيات لإصلاح الأنسجة بعد إصابات شديدة أو حروق أو التهابات. فى التغذية الوريدية الكاملة)TPN(، أو التغذية الفا ئقة،[8] يُزوّد المريض بدعم غذائى وريدى كامل، بما فى ذلك هيدروكسيليز البروتين)خليط الأحماض الأمينية(، الفيتامينات، الإلكتروليتات، 20% إلى 25% جلوكوز، و فى أيام متناوبة، مستحلب دهنى.

يُطرح الماء من المحاليل الوريدية عادة عن طريق الكلى. ومع ذلك، إذا كان المر يض يعانى من قصور كلوى، فقد لا تواكب عملية الطرح كمية المدخول، وهناك خ طر حدوث ترطيب منخفض التوتر.
عادةً ما تُعطى السوائل الوريدية ببطء، عن طريق *I.V. drip,* لتجنب التغيرات المفا جئة أو التعويض المفرط لحالة المريض. بالإضافة إلى قياس الرقم الهيدروجينى)p H(، يتم مراقبة معدل ضربات القلب وضغط الدم والهيماتوكريت وتركيزات الكهارل فى البلازما، ويتم فحص المريض دوريًا للاستماع إلى أصوات ا لتنفس التى قد تشير إلى وذمة رئوية.
تُبرز حساسية علاج استبدال السوائل العلاقات الوثيقة بين السوائل والكهارل و الرقم الهيدروجينى. من الخطير التلاعب بأى من هذه المتغيرات دون الانتباه الدق يق إلى المتغيرات الأخرى. عادةً ما يُستخدم العلاج بالسوائل الوريدية للأشخاص ا لذين يعانون من مرض خطير. حيث تكون آليات التوازن الداخلى لديهم مُتضررة بالفعل وتترك مجالًا أقل للخطأ مقارنة بالشخص السليم.

نظرة أعمق 24.2



التطبيق السريرى

علاج استبدال السوائل

واحدة من أهم المشاكل فى علاج المرضى المصابين بحالات خطيرة هى استعادة والحفاظ على حجم السوائل المناسب، وتكوينها، وتوزيعها بين مقصورات السوائل . يمكن إعطاء السوائل لتعويض إجمالى ماء الجسم، استعادة حجم وضغط الدم، ن قل الماء من مقصورة سائلة إلى أخرى، أو استعادة والحفاظ على توازن الكهارل وا لحمض-قاعدة.

شرب الماء هو أبسط طريقة لاستبدال السوائل، لكنه لا يعوض الكهارل. يمكن أن يحدث إجهاد حرارى عندما يفقد الشخص الماء والملح فى العرق ويعوض السوا ئل بشرب الماء العادى فقط. المرق، العصائر، ومشروبات الرياضة تعوض الماء، ا لكربوهيدرات، والكهارل.

يجب علاج المرضى الذين لا يستطيعون تناول السوائل عن طريق الفم بطرق بديلة. جميع طرق إعطاء السوائل غير الجهاز الهضمى تُسمى طرق الوريدية[7]. أك ثر هذه الطرق شيوعًا هو الطريق الوريدى)I.V(، ولكن لأسباب مختلفة، بما فى ذل ك عدم القدرة على إيجاد وريد مناسب، تُعطى السوائل أحيانًا عن طريق تحت الج لد)sub-Q(، أو داخل العضلات)I.M(، أو طرق وريدية أخرى. يمكن إعطاء بعض ا لسوائل عن طريق الحقن الشرجى وامتصاصها عبر القولون. تتوفر العديد من أنواع المحاليل المعقمة لتلبية احتياجات تعويض السوائل لمختلف المرضى.

فى حالات فقدان الدم الشديد، قد لا يكون هناك وقت لكتابة ومطابقة الدم لنقل الدم. الحاجة الأكثر إلحاحًا هى تعويض حجم الدم والضغط. المحلول الملحى الطبيعى)متساوى التوتر، 0.9% NaCl(هو وسيلة سريعة وبسيطة نسبيًا لزيادة حجم الدم مع الحفاظ على التوتر الاسموزى الطبيعى، لكنه يحمل عيوبًا كبيرة.
يحتاج الأمر إلى ثلاثة إلى خمسة أضعاف كمية المحلول الملحى مقارنة بالدم الكام ل لإعادة بناء الحجم الطبيعى لأن جزءًا كبيرًا من المحلول الملحى يهرب من الدورة الدموية إلى الحيز الخلالى أو يُطرح عن طريق الكلى. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن ي سبب المحلول الملحى الطبيعى فرط صوديوم الدم وفرط كلور الدم، لأن الجسم ي طرح الماء لكنه يحتفظ بمعظم NaCl.
يمكن أن يؤدى فرط كلور الدم بدوره إلى الحُماض. كما أن المحلول الملحى الطبيع ى يفتقر إلى البوتاسيوم والمغنيسيوم والكالسيوم. فى الواقع، يخفف هذه الإلكترو ليتات الموجودة بالفعل ويخلق خطر توقف القلب بسبب نقص كالسيوم الدم. كما يخفف المحلول الملحى الألبومين فى البلازما وكريات الدم الحمراء، مما يزيد من ا لمخاطر على المرضى الذين يعانون من فقدان دم شديد.
ومع ذلك، فإن الحفاظ الطارئ على حجم الدم يتقدم أحيانًا على هذه الاعتبارات الأ خرى مؤقتًا.
يُستخدم العلاج بالسوائل أيضًا لتصحيح اختلالات الرقم الهيدروجينى. يمكن علاج الحُماض بمحلول لاكتات رينجر، الذى يحتوى على الصوديوم
لإعادة بناء حجم السائل خارج الخلوى، والبوتاسيوم لإعادة بناء حجم السائل داخل الخلوى، واللاكتات لموازنة الكاتيونات، وكمية كافية من الجلوكوز لجعل المحلول متساوى التوتر. يمكن علاج القلاء بالكلوريد البوتاسيوم. يجب إعطاؤه بحذر شديد، لأن البوتاسيوم الوريدى يمكن أن يسبب

[8] *hyper*= فوق الطبيعى؛ *aliment*= تغذية

[7] *para*= بجانب؛ *enter*= أمعاء

دليل الدراسة

قيّم نتائج تعلمك

لاختبار معرفتك، ناقش المواضيع التالية مع شريك دراسي أو كتابة، ويفضل من الذاكرة.

24.1 توازن السوائل

1. حجرات السوائل؛ محتوى الماء الكلي في ح سم شاب نموذجي؛ ونسب ما منها في الحجر ات داخل الخلوية وخارج الخلوية
2. كيف يتحرك الماء من حجرة سائلة إلى أخرى؛ وما الذي يختلف أكثر بين الحجرات—التر كيز الأسموزي أم التركيب الكيميائي—ولماذا
3. ماذا يعني أن يكون الجسم في حالة توازن سوائل
4. معاني *فقدان الماء المعقول، غير المعقول، والضروري*
5. الكسب اليومي النموذجي للماء والخسائر؛ م صادر الكسب المائي وطرق فقدان الماء، والك ميات النموذجية لكل منهما
6. كيف يستشعر الوطاء حالة ترطيب الجسم وكيف يعزز تناول السوائل والحفاظ على الماء عند الضرورة
7. الآليات قصيرة وطويلة الأمد التي تُشبع العط ش؛ ولماذا من المهم وجود الآليات قصيرة الأ مد
8. دور هرمون مضاد الإدرار في تنظيم معدل فق دان السوائل في الجسم
9. معنى نقص السوائل؛ نوعان من نقص السوا ئل وكيف يختلفان؛ والعواقب المحتملة لنق ص السوائل
10. معنى فائض السوائل؛ نوعان من فائض ال سوائل وكيف يختلفان؛ والعواقب المحتملة ل فائض السوائل
11. معنى احتباس السوائل؛ أمثلة وعواق ب محتملة لاحتباس السوائل

24.2 توازن الإلكتروليتات

1. وظائف الإلكتروليتات بشكل عام؛ الإلكتروليتات الشائعة في الجسم؛ وتركيزات Na^{+}، K^{+}، Cl^{-}، Ca^{2+}، Mg^{2+}، وأيونات الفوسفات في السائل خارج الخلية (ECF) والسائل داخل الخلية (ICF)
2. الوظائف الفسيولوجية للصوديوم؛ كيف ينظم بواسطة الألدوستيرون، هرمون مضاد الإدرار ، والببتيدات المدرّة للصوديوم؛ وأسباب وتأ ثيرات فرط ونقص صوديوم الدم
3. الوظائف الفسيولوجية للبوتاسيوم؛ كيفية تن ظيمه بواسطة الكلى والألدوستيرون؛ وأس باب وتأثيرات فرط ونقص بوتاسيوم الدم
4. الوظائف الفسيولوجية للكالسيوم؛ لماذا يجب على الخلايا عادةً الحفاظ على مستوى منخفض م ن الكالسيوم داخل الخلايا؛ وكيف يتم تنظيم تواز ن الكالسيوم بواسطة هرمون الغدة الجار درقية ، والكالسيتريول، والكالسيتونين؛ وأسباب وتأثيرا ت فرط ونقص كالسيوم الدم
5. الوظائف الفسيولوجية للمغنيسيوم؛ كيف ينظ م فيتامين د وهرمون الغدة الجار درقية مستو ى المغنيسيوم؛ وأسباب وتأثيرات نقص وزيا دة المغنيسيوم
6. الوظائف الفسيولوجية للكلوريد؛ لماذا يتم تحديد مستويات الكلوريد بشكل رئيسي بواس طة آليات تنظيم الصوديوم؛ وأسباب وتأثيرات فرط ونقص كلور الدم
7. ثلاثة أشكال لأيونات الفوسفات غير ا لعضوية (Pi)؛ الوظائف الفسيولوجية للفو سفات؛ وكيف يتم تنظيم توازن الفوسفات

24.3 توازن الحمض والقاعدة

1. النطاق الطبيعي لدرجة الحموضة في الدم ومعظم السوائل خارج الخلوية، ولماذا يعتبر توازن الحمض والقاعدة حيويًا ل لحفاظ على الاتزان الداخلي
2. الأحماض والقواعد القوية والضعيفة، وأم ثلة عليها
3. كيف يقاوم العازل تغيرات درجة الحموضة؛ الأنظم ة العازلة الفسيولوجية والكيميائية الرئيسية في ا لجسم
4. كيف تقوم أنظمة العازل البيكربونات والفو سفات والبروتين بتحييد الحمض أو القاعدة الزائدة؛ فعاليتها مقارنة ببعضها البعض وبا لأنظمة العازلة الفسيولوجية
5. كيف يقوم الجهاز التنفسي بتعديل درجة الحموضة (pH)
6. كيف يفرز النبيب الكلوي الحمض؛ لماذا يكون البول عادة خالياً من البيكربونات؛ لماذا يرتبط إفراز الحمض بإعادة امتصاص الصود يوم؛ وأدوار Na_2HPO_4 وNH_3 في تعادل حمض البول
7. نسبة H_2CO_3 إلى HCO_3^- عند الرقم الهيدروجيني الطا بيعي للدم، وكيف تتغير هذه النسبة في حالات الحماض وا لقلوية؛ ومستويات الرقم الهيدروجيني التي تصبح عندها حالات الحماض والقلوية مميتة قريباً
8. الآليات وراء التأثيرات العصبية العضلية للحماض والقلوية
9. الأسباب الشائعة للحماض والقلوية التنف سية والتمثيلية
10. الفرق بين الحماض والقلوية المعوضة وغير المعوضة، وكيف يعوض الجهاز التنفسي وا لجهاز البولي اختلالات الرقم الهيدروجيني
11. أمثلة على كيفية تسبب اختلالات السوائل وا لإلكتروليتات والحمض-القاعدة في بعضها ال بعض أو كونها ناتجة عن اختلالات في الفئتين ا لأخريين

الإجابات في الملحق أ

▶ اختبار استرجاع المعلومات الخاصة بك

1. أكبر نسبة من ماء الجسم توجد في
   - أ. بلازما الدم.
   - ب. اللمف.
   - ج. السائل داخل الخلايا.
   - د. السائل الخلالي.
   - هـ. السائل خارج الخلايا.
2. من المحتمل أن يؤدي ارتفاع ضغط الدم إلى زيادة إفراز
   - أ. الببتيد المدر للبول (natriuretic peptide).
   - ب. هرمون مضاد الإدرار (antidiuretic hormone).
   - ج. أيونات البيكربونات.
   - د. الألدوستيرون.
   - هـ. الأمونيا.
3. يزيد من إعادة امتصاص الماء دون زياد ة إعادة امتصاص الصوديوم. ______
   - أ. هرمون مضاد لإدرار البول
   - ب. ألدوستيرون
   - ج. الببتيد المدر للبول (Natriuretic peptide).
   - د. هرمون جارات الدرقية (Parathyroid hormone).
   - هـ. الكالسيتونين
4. يمكن أن ينتج الترطيب منخفض التوتر من
   - أ. فرط إفراز هرمون مضاد الإدرار (ADH hypersecretion).
   - ب. نقص إفراز هرمون مضاد الإدرار (ADH hyposecretion).
   - ج. فرط إفراز الألدوستيرون (aldosterone hypersecretion).
   - د. نقص إفراز الألدوستيرون (aldosterone hyposecretion).
   - هـ. فقط a و d.
5. التشنج العضلي (Tetanus) من المرجح أن ينتج عن
   - أ. فرط صوديوم الدم (hypernatremia).
   - ب. نقص بوتاسيوم الدم.
   - ج. فرط بوتاسيوم الدم.
   - د. نقص كالسيوم الدم.
   - هـ. فقط c و d.

دليل الدراسة

14. تفقد البشرة الماء من خلال عمليتين، ال ______ تعرق و.

15. أى تراكم غير طبيعى للسوائل فى مكان مع ين من الجسم يُسمى ______.

16. تركيز مفرط لأيونات البوتاسيوم فى الدم يُسمى ______.

17. نقص فى أيونات الصوديوم فى الدم يُسمى ______.

18. درجة حموضة الدم 7.2 الناتجة عن تهوية ر ئوية غير كافية تُصنف على أنها ______.

19. يتوقف إفراز الأنيونات الهيدروجينية فى الأنابيب إذا انخفضت حموضة السائل الأنبوبى عن قيمة تُسمى ______.

20. الإشباع طويل الأمد للعطش يعتمد على تقل يل ______ من الدم.

9. إفراز الهيدروجين الأنبوبى مرتبط مباشرةً ب

أ. إفراز البوتاسيوم الأنبوبى.

ب. إفراز الصوديوم الأنبوبى.

ج. إعادة امتصاص البوتاسيوم الأنبوبى.

د. إعادة امتصاص الصوديوم الأنبوبى.

هـ. إفراز الكلوريد الأنبوبى.

10. فرط كلور الدم من المرجح أن يؤدى إلى

أ. القلاء.

ب. الحماض.

ج. فرط صوديوم الدم (hypernatremia).

د. فرط بوتاسيوم الدم.

هـ. نقص حجم الدم.

11. أكثر الكاتيونات وفرة فى السائل خارج الخلوى هو ______.

12. أكثر الكاتيونات وفرة فى السائل داخل الخلوى هما ______.

ملخص تكوين البول الفهم إعادة الامتصاص الأنبوبى والإفرازنظرة عامة:تعد عملية تكوين البول ضرورية للحفاظ على التوازن الداخلى فى الجسم. يركز هذا القسم على إعادة الامت

13. الماء الناتج عن التفاعلات الكيميائية فى ج سم الإنسان يُسمى ______.

6. العامل الرئيسى المحدد للأسمولارية داخل الخلايا وحجم الخلية هو

أ. البروتين.

ب. الفوسفات.

ج. البوتاسيوم.

د. الصوديوم.

هـ. كلوريد.

7. زيادة إفراز كلوريد الأمونيوم فى البول تشير على الأرجح إلى

أ. فرط كالسيوم الدم.

ب. نقص صوديوم الدم.

ج. نقص كلوريد الدم.

د. القلاء.

هـ. الحماض.

8. أكثر العوامل المخثرة فعالية فى السائل داخل الخلايا هو

أ. الفوسفات.

ب. البروتين.

ج. بيكربونات.

د. حمض الكربونيك.

هـ. الأمونيا.

بناء مفرداتك الطبية

الإجابات فى الملحق أ

اذكر معنى كل عنصر من عناصر الكلمة، وقدم مصطلحًا طبيًا من هذا الفصل يستخدم أو تغييرًا طفيفًا عليه.

1. aliment-
2. -emia
3. entero-
4. kali-
5. natri-
6. para-
7. sequestr-
8. سبيرو-
9. ترانس-
10. فول-

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

الإجابات فى الملحق أ

اشرح بإيجاز لماذا كل من العبارات التالية خاطئة، أ و أعد صياغتها لتصبح صحيحة.

1. فرط بوتاسيوم الدم يخفض جهد الراحة لغشاء خلايا الأعصاب والعضلات ويجعلها أقل إ ثارة.

2. الألدوستيرون يعزز احتباس الصوديوم والما ء وبالتالى يمكن أن يزيد ضغط الدم بشكل ك بير.

3. الإصابات التى تؤدى إلى تمزق عدد كبير من الخ لايا، مثل تعرية الذراع بواسطة آلات المزرعة أو ا لمصنع، تميل إلى رفع تركيز Na^+ فى السائل خار ج الخلية (ECF) وبالتالى يمكن أن تسبب توق ف القلب.

4. مستوى الفوسفات فى السائل خارج الخلية (EC F) حاسم جداً للبقاء على قيد الحياة ويجب تنظيمه هرمونياً ضمن نطاق آمن ضيق.

5. هرمون الغدة الجار درقية يعزز إعادة امتصاص الكالسيوم والفوسفات بواسطة الكلى.

6. نظام البيكربونات يعمل كعازل حمضى أكثر من أى عازل كيميائى آخر.

7. كلما زاد امتصاص أنابيب الكلى للصوديوم، قل ظهور أيونات الهيدروجين فى البول وارتفع م يل درجة حموضة البول (pH).

8. يعوض الجسم عن القلاء التنفسى بزيادة معد ل التنفس.

9. فى حالة الجفاف الحقيقى، تظل سوائل الجسم م تساوية التوتر بالرغم من انخفاض إجمالى م اء الجسم.

10. يحدث إخماد العطش على المدى الطويل بشكل رئيسى نتيجة ترطيب وتبريد الفم عند الشرب.

دليل الدراسة

اختبر فهمك

بعد 10 أيام من توقف القلب. اشرح السبب(الأسباب)(الفسيولوجي المحتمل لوفاته.

5. The left column indicates some increases or decreases in blood plasma values. In the right column, replace the question mark with an up or down arrow to indicate the expected effect. Explain each effect.

السبب	Effect
a. ↑ H_2O	? Na^+
b. ↑ Na^+	? Cl^-
c. ↓ K^+	? H^+
d. ↑ H^+	? K^+
e. ↓ Ca^{2+}	? PO_4^{3-}

يصاب الطفل بنوبات ويُؤخذ إلى المستش
في حيث يُكتشف أنه يعاني من وذمة، وحما
ضية، وتركيز صوديوم البلازما لديه 116 ملي
مكافئ/لتر. يُعالج الطفل بمضادات التشنج تل
يها محلول ملحي عادي ويتعافى. اشرح كل ع
لامة من هذه العلامات.

3. اشرح لماذا يعتبر كل من الجهاز التنفسي و
الجهاز البولي ضروريين لكي يعمل نظام عازلة ا
لبيكربونات بفعالية في بلازما الدم.

4. طفل يبلغ من العمر 4 سنوات عالق في ح
رب قبلية في أفريقيا. في مخيم للاجئين، ا
لماء الوحيد الصالح للشرب هو من بركة
ملوثة بمياه الصرف الصحي. يصاب الطفل
بسرعة بإسهال حاد بسبب الكوليرا ويموت

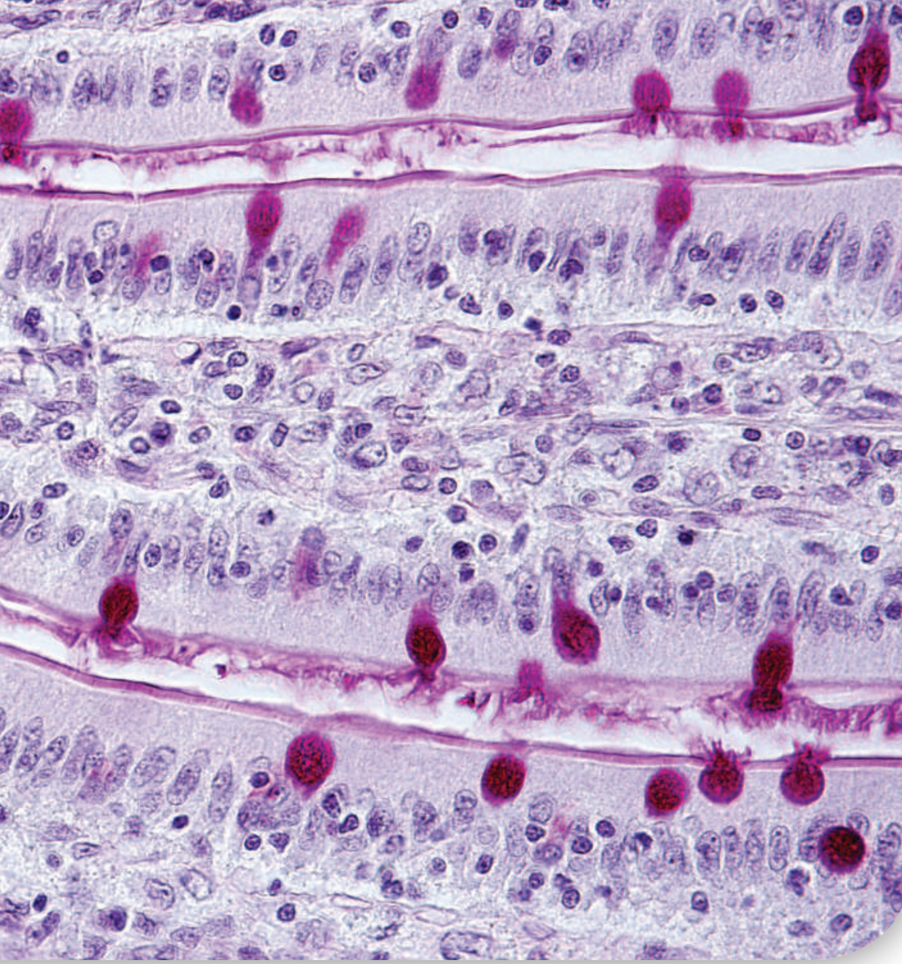
1. تم إدخال صياد بط إلى المستشفى بسبب
إصابة في البطن من بندقية صيد. لقد فقد
كمية كبيرة من الدم لكنه واعٍ. يشكو من ع
طش شديد. اشرح الآلية الفسيولوجية التي تر
بط إصابته بعطشه.

2. امرأة تعيش في مستوى الفقر تجد ماءً
معبأ في المتجر بجانب حليب الأطفال. تشير ا
لملصقات على الماء إلى أنه مخصص خصيصًا
للرضع، وهي تفسر ذلك على أنه يمكن استخدا
مه كمكمل غذائي. الماء أرخص بكثير من الحل
يب، لذا تعطي طفلها عدة أونصات من الماء ا
لمعبأ يوميًا كبديل للحليب. بعد عدة أيام

الفصل

25

الجهاز الهضمى



الزغابات فى الأمعاء الدقيقة

خوسيه لويس كالفو/Shutterstock

مخطط الفصل

رؤى أعمق



التشريح والفيزيولوجيا المكشوفة 4.0

الوحدة 12: الجهاز الهضمى

هـهـ تحديد طبقات القناة الهضمية ووصف علاقتها بالغشاء البريتونى؛ و

وصف الضوابط العصبية والكيميائية العامة على و. وطيفة الجهاز الهضمى.

25.1أ وظيفة الجهاز الهضمى APR

الجهاز الهضمى هو نظام الأعضاء الذى يعالج الطعام، يستخلص منه العناصر الغذائية، ويزيل البقايا. يتم ذلك فى خمس مراحل:

1. الابتلاع، وهو تناول الطعام بشكل انتقائى؛
2. الهضم، التحلل الميكانيكى والكيميائى للطعام إلى شكل يمكن للجسم استخدامه؛
3. الامتصاص، امتصاص جزيئات المغذيات إلى أنسجة الجسم الخاصة؛
4. التكثيف، امتصاص الماء وتكثيف البقايا غير القابلة للهضم إلى براز؛ و أخيرًا،
5. التخلص من البراز. **التغوط.**

مرحلة الهضم نفسها لها جانبين، ميكانيكى و كيميائى. الهضم الميكانيكى هو التحلل الفيزيائى للطعام إلى جزيئات أصغر. يتم ذلك عن طريق القطع والطحن عمل الأسنان وتقلصات التقليب فى المعدة. الهضم الميكانيكى يعرض سطحًا أكبر من الطعام لتأثير الإنزيمات الهضمية. الهضم الكيميائى هو سلسلة من تفاعلات التحلل المائى التفاعلات التى تكسر الجزيئات الكبيرة الغذائية إلى وحداتها الأحادية: البوليسكاريدات إلى أحاديات السكر، البروتينات إلى الأحماض الأمينية، الدهون إلى أحادى الغليسريدات والأحماض الدهنية، والأحماض النووية إلى النيوكليوتيدات. يتم ذلك بواسطة الإنزيمات الهضمية التى تنتجها الغدد اللعابية، المعدة، البنكرياس، والأمعاء الدقيقة. بعض المغذيات تكون موجودة بالفعل فى شكل قابل للاستخدام فى الطعام المبتلع وتمتص دون أن تهضم: الفيتامينات، الأحماض الأمينية الحرة الأحماض والمعادن والكوليسترول والماء.

25.1ب التشريح العام

يتكون الجهاز الهضمى من قسمين تشريحيين، الهضم- الجهاز الهضمى والأعضاء الملحقة)الشكل 25.1(. الجهاز الهضمى)القناة الهضمية 2(هى أنبوب عضلى يمتد من الفم إلى الشرج. يبلغ طوله حوالى ٥ أمتار)١٦ قدمًا(فى الشخص الحى، ولكن حوالى ٩ أمتار)٣٠ قدمًا(فى الجثة بسبب فقدان توتر العضلات عند الموت. يشمل الفم، البلعوم، المرىء، المعدة، الأمعاء الدقيقة الأمعاء والأمعاء الغليظة. يشكل المعدة والأمعاء... تشكل *الجهاز الهضمى)GI(.* الأسنان، اللسان، الغدد اللعابية تُعتبر الغدد والكبد والمرارة والبنكرياس أعضاءً ملحقة بالجهاز الهضمى.

القناة الهضمية مفتوحة على البيئة من كلا الطرفين. معظم المادة الموجودة فيه لم تدخل أى أنسجة من الجسم و يُعتبر خارج الجسم حتى يتم امتصاصه بواسطة خلايا الطهارة فى القناة الهضمية. بمعنى دقيق، بقايا الطعام التى تُطرح لم تكن أبداً داخل الجسم.

مراجعة

- جميع عمليات الهضم الكيميائى تتكون من تفاعلات التحلل المائى، لذا يجب أن تفهم هذه العملية وتأثيرها على العلاقة بين المونومرات والبوليمرات)انظر القسم 2.4ب(.
- يجب عليك أيضًا معرفة البنية الأساسية للسكريات المتعددة، السكريات الثنائية، ثلاثى الجليسريد، والبروتينات لفهم كيفية يتم هضمها)انظر القسم 2.4ح(.
- لفهم أفضل لتفعيل وإيقاف تنشيط الإنزيمات الهضمية المختلفة فى مناطق مختلفة من الجهاز الهضمى، قم بتحديث ذاكرتك حول تأثير الرقم الهيدروجينى)pH(على عمل الإنزيمات)انظر القسم 2.4f(.
- يمتلك الامتصاص المعوى للمغذيات عدة طرق من النقل الغشائى الذى نوقشَ فى القسم 3.3.

معظم العناصر الغذائية التى نأكلها لا يمكن استخدامها بالشكل الموجود فى طعامنا. يجب تفكيكها إلى جزيئات أصغر- مكونات، مثل الأحماض الأمينية وأحاديات السكاريد، التى هى أحادية- شائع بين جميع الأنواع. فكر فيما يحدث إذا أكلت قطعة من لحم البقر، على سبيل المثال. يختلف الميوسين فى لحم البقر قليلاً جداً عن ذلك لعضلاتك الخاصة، لكن الاثنين ليسا متماثلين، وحتى إذا كان الأمر كذلك، فلن يكون من الممكن امتصاص الميوسين البقرى، أو ن قله فى الدم، أو تركيبه بشكل صحيح فى خلايا عضلاتك. مثل أى بروتين غذ ئى آخر، يجب تفكيكه إلى أحماض أمينية قبل أن يتم استخدامه. نظرًا لأن بروتينات اللحم البقرى والبشرية تتكون من ن فس 20 حمضًا أمينيًا، فإن بروتينات اللحم البقرى يمكن بالفعل تصبح جزءًا من الميوسين الخاص بك ولكن يمكن أن تنتهى بنفس القدر فى الأنسولين الخاص بك، الفيبرينوجين، الكولاجين، أو أى بروتين آخر. الجهاز الهضمى هو فى الأساس خط تفكيك— الهدف الأساسى هو تفكيك المغذيات إلى أشكال يمكن استخدامها من قبل الجسم وامتصاصها بحيث يمكن توزيعها على الأنسجة. دراسة الجهاز الهضمى والتشخيص- تشخيص وعلاج اضطراباتها يُسمى طب الجهاز الهضمى.[1]

25.1

التشريح العام و عمليات الهضم

هعفوملا هيميلعلا حئاتُنلا

هل أنت قادر على ذكر وظائف وعمليات الجهاز اله ضمى الفسيولوجية الرئيسية؟أ. سرد وظائف وعمليات الجهاز الهضمى الر ئيسية؛

.؟ب التمييز بين الهضم الميكانيكى والكيميائى؛

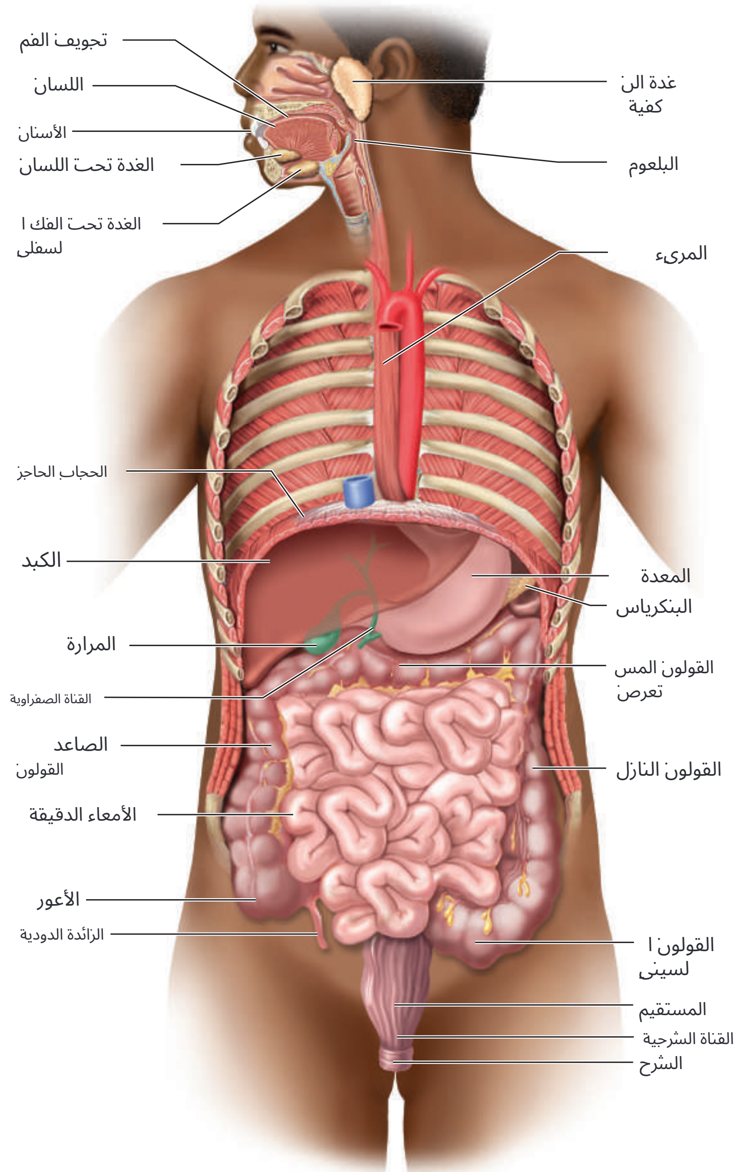
ح. تحديد العملية الكيميائية الأساسية التى تقوم عليها جميع عمليا ت الهضم الكيميائى، وذكر الركائز والمنتجات الرئيسية لهذه العملية؛

دد. سرد مناطق القناة الهضمية والأعضاء الملحقة بالجهاز الهضمى؛

---

[1] جاسترو = المعدة; entero الأمعاء؛ علم = دراسة

[2] aliment طعام



الشكل 25.1 الجهاز الهضمى.

يتبع معظم الجهاز الهضمى الخطة الهيكلية الأساسية
الموضحة فى الشكل 25.2، مع جدار يتكون من طبقات الأنسجة التال
ية بالترتيب من الداخل إلى الخارج:

الغشاء المخاطى

الطهارة

الطبقة الخاصة

العضلة المخاطية

تحت المخاطية

العضلة الخارجية

الطبقة الدائرية الداخلية

الطبقة الطولية الخارجية

السيروزا

النسيج الرخو

الميزوثيليوم

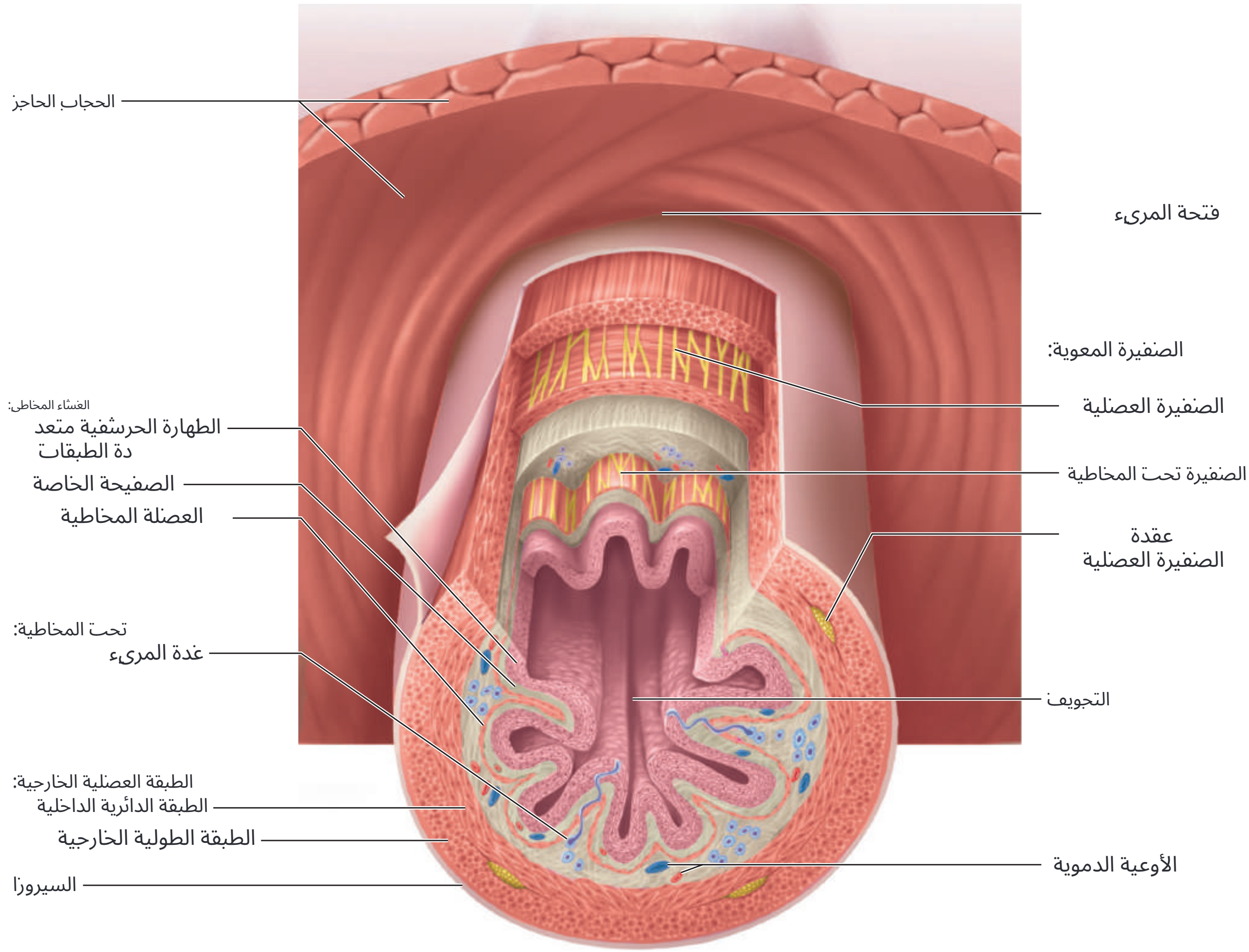
توجد اختلافات طفيفة فى هذا الموضوع فى مناطق مختلفة من
القناة.
البطانة الداخلية للقناة، التى تُسمى الغشاء المخاطى)المخاطى
الغشاء(، يتكون من طهارة، ونسيج ضام رخو
الطبقة الخاصة، وطبقة رقيقة من طبقة نسيجية تسمى
العضلة الملساء المسماة **muscularis mucosae** (MUSS-cue
LERR-is mew-CO-see(. الطهارة هى عمودية بسيطة فى
معظم القناة الهضمية، ولكن الطبقة الحرشفية المتعددة الطبقات من
تنتقل من التجويف الفموى عبر المرىء وفى القناة الشرجية السفلية،
حيث يتعرض القناة لهجوم أكثر بسبب الاحتكاك. الطبقة العضلية
تشد الأغشية المخاطية الغشاء المخاطى، مما يخلق أخاديد ونتوءات تزيد من
مساحة سطحه وتلامسه مع الطعام. هذا يحسن
كفاءة الهضم وامتصاص المغذيات. الـ
تُظهر الغشاء المخاطى وفرة من الخلايا اللمفاوية والأنسجة اللمفاوية
العقد—الأنسجة اللمفاوية المرتبطة بالغشاء المخاطى *(MALT)* (انظر
القسم 21.1د).

- الطبقة تحت المخاطية هى طبقة أكثر سمكًا من النسيج الضام الرخو
نسيج يحتوى على الأوعية الدموية والأوعية اللمفاوية، وضفيرة عصبية، و
فى بعض الأماكن، توجد غدد تفرز مخاطًا مرطبًا إلى
التجويف. يمتد نسيج اللمف المرتبط بالغشاء المخاطى)MALT(إلى تحت المخاطية فى بعض المناطق.

الطبقة العضلية الخارجية تتكون عادةً من طبقتين من
العضلة بالقرب من السطح الخارجى. تحيط خلايا الطبقة الداخلية
يمتد المسار بينما تمتد ألياف الطبقة الخارجية طوليًا. فى بعض
فى بعض الأماكن، تزداد سماكة الطبقة الدائرية لتشكيل صمامات)مصاقات(
التى تنظم مرور المواد عبر القناة. العضلات-
العضلة الطولية الخارجية مسؤولة عن الحركة التى تدفع الطعام و
البقايا عبر الجهاز الهضمى.

- الغشاء السيروزى هو طبقة رقيقة من النسيج الرخو مغطاة بطبقة بسيطة من الخلايا الحرشفية
الغشاء المصلى الموسى. يبدأ فى الجزء السفلى من المرىء بطول ٣ إلى ٤ سم
وينتهى قبل المستقيم مباشرة. البلعوم، معظم المرىء-
الأمعاء الغليظة والمستقيم لا تحتويان على سيروزا ولكن تحيط بهما طبقة ليفية
طبقة النسيج الضام المسماة الغلاف الخارجى)adventitia(، الذى يندمج مع
النسيج الضام المجاور للأعضاء الأخرى.
المرىء والمعدة والأمعاء تحتوى على نظام عصبى
شبكة تسمى الجهاز المعوى[3] الضفيرة، التى تنظم الجهاز الهضمى
الحركة، الإفراز، وتدفق الدم)انظر القسم 15.2د(. يمكن أن يعمل-
يعمل الجهاز الهضمى بشكل مستقل عن الجهاز العصبى المركزى، على الرغم م
ن أن الجهاز العصبى المركزى يمارس عادة تأثيرًا كبيرًا على نشاطه.
يُعتبر جزءًا من الجهاز العصبى الذاتى)ANS( )انظر
الشكل 12.2(، لكن الآراء حول هذا تختلف.
يتكون الضفيرة المعوية من شبكتين عصبيتين-
الأعصاب: الضفيرة تحت المخاطية فى الطبقة تحت المخاطية و
الضفيرة المِعَدية من العقد والألياف العصبية بين الطبقات-
طبقات العضلة الخارجية. الأعصاب قبل العقدة فى الجهاز اللاودى
تنتهى الألياف العصبية للعصب المبهم فى العقد العصبية لـ
الضفيرة الميانتيرية. الألياف بعد العقدية التى تنشأ فى هذا
العقد العصبية لا تعصب فقط الطبقة العضلية الخارجية، بل تمر أيضًا
من خلال طبقتها الدائرية الداخلية وتساهم فى الطبقة تحت المخاطية
الضفيرة القطنية. تتحكم الضفيرة العضلية فى التمعج و

[3] *enter* الأمعاء



الشكل 25.2 طبقات نسيج الجهاز الهضمى. مقطع عرضى للمرىء أسفل الحجاب الحاجز حيث يلتقى بالمعدة.

تمنع المساريقا الأمعاء من الالتواء والتشابك بسبب تقلصاتها أو تغيرا ت وضعية الجسم. تسهل الحركات المعوية بواسطة السائل البريتونى الزلق الذى يزيت المساريقا.

الغشاء البريتونى الجدارى هو غشاء مصلى يبطن جدار تجويف ال بطن. على طول الخط الأوسط الخلفى)الظهرى(للجسم، ينثنى إلى الد اخل ويشكل المساريقا الخلفية، وهو غشاء شفاف ذو طبقتين يمتد إ لى الجهاز الهضمى. عند وصوله إلى عضو مثل المعدة أو الأمعاء الدق قة، تنفصل طبقتا المساريقا وتمرّان حول جانبى العضو، مكونتين ال صفاق. فى بعض الأماكن، تلتقى الطبقتان مرة أخرى على الجانب ال بعيد من ذلك العضو وتستمران كالمساريقا الأمامية. قد يتدلى هذا ال جزء من المساريقا بحرية فى تجويف البطن أو يلتصق بجدار البطن الأ مامى أو بأعضاء أخرى.

امتدادات أمامية للمساريقا تُسمى الأومنتا مرتبطة بالمعدة)الش كل 25.3(. الأومنتوم الأصغر يمتد مسافة قصيرة من الكبد إلى الحافة العلوية اليمنى)الانحناء الأصغر(للمعدة. القناة الصفراوية مدمجة فى ا لأومنتوم الأصغر على طول مسارها بين الكبد والاثنى عشر، وكذلك بع ض الأوعية الدموية الرئيسية المؤدية إلى الكبد. حجم أكبر بكثير

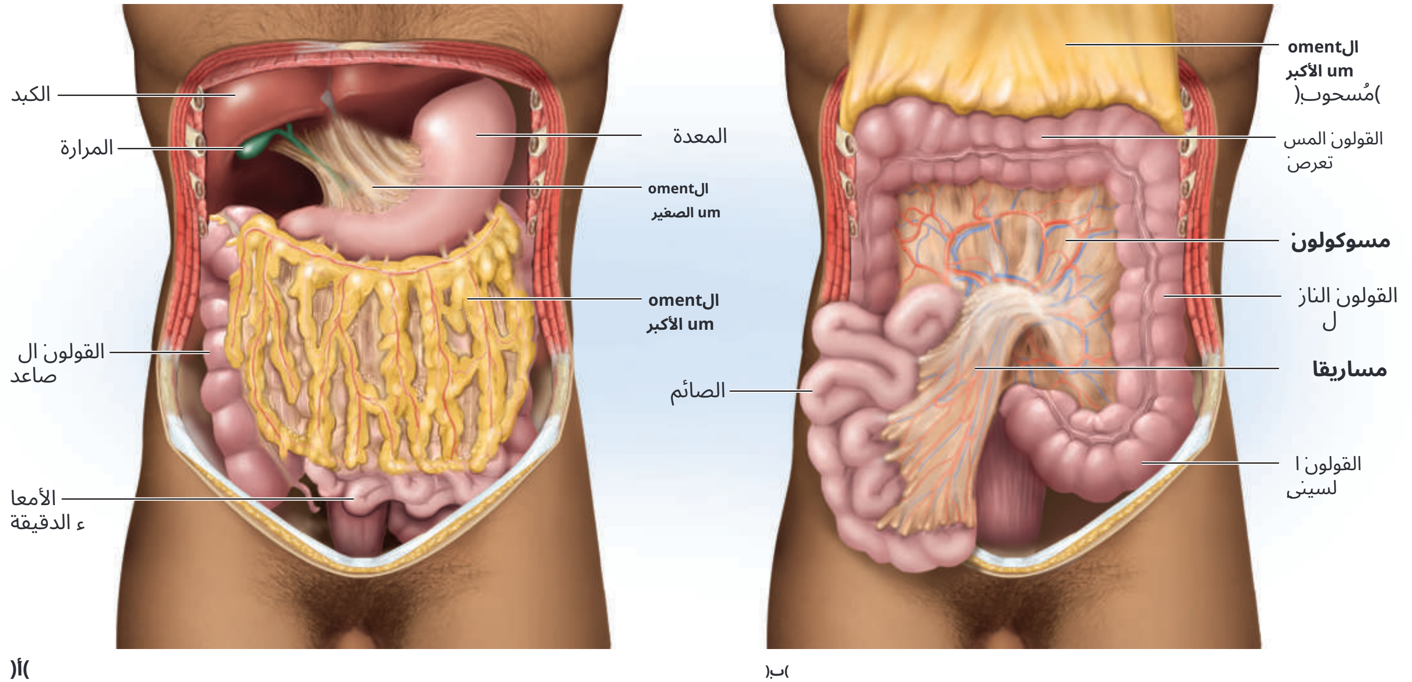
انقباضات أخرى للطبقة العضلية الخارجية، وتتحكم الصفيرة تحت الم خاطية فى حركات الطبقة العضلية المخاطية وإفراز الغدد فى المخاط ية. على عكس بقية الجهاز العصبى الذاتى، تشمل الصفيرة المعوية أ يضًا خلايا عصبية حسية تراقب التوتر فى جدار الأمعاء والظروف داخل التجويف.

25.1ح العلاقة بالغشاء البريتونى

أثناء معالجة الطعام، يخضع المعدة والأمعاء لانقباضات شديدة بحيث تحتاج إلى حرية الحركة فى تجويف البطن. فهى ليست مرتبطة بإحكا م بجدار البطن، ولكن على طول معظمها معلقة بشكل فضفاص منه بواسطة ورقة نسيج ضام تسمى المساريق)انظر الأشكال A.7 و A.8 فى الأطلس A(.

المساريقا هى غشاء مصلى واحد معقد الطىّ، على الرغم من أن مناط ق مختلفة منه تُعرف بأسماء خاصة بها.

تثبت الأحشاء البطنية فى علاقاتها الصحيحة مع بعضها البعض، وتو فر ممرًا للأوعية الدموية والأعصاب التى تغذى أعضاء الجهاز الهضمى ، وتحتوى على العديد من العقد اللمفاوية والأوعية اللمفاوية. يجب أن تمر تقريبًا كل الإشارات العصبية والهرمونية بين الجزء السفلى من ا لجهاز الهضمى وبقية الجسم عبر المساريقا. الأمعاء الدقيقة متحركة بشكل خاص، حيث تتلوى وتلتف أثناء الهضم.



الشكل 25.3 الأغشية المصلية المرتبطة بالجهاز الهضمى.)أ(الأومنتوم الأكبر والأصغر.)ب(الأومنتوم الأكبر والأمعاء الدقيقة مسحوبان لإظهار المسوكولون وا لمساريقا للأمعاء الدقيقة. تحتوى هذه الأغشية على الشرايين والأوردة المساريقية.

APR

الجدار مغطى بالغشاء البريتونى من الجانب الأمامى فقط، ويُقال إنه خارج تجويف البريتون، أو خلف بريتونى. الاثنى عشر، معظم البنكريا س، وأجزاء من الأمعاء الغليظة هى خلف بريتونية. المعدة، الكبد، وأج زاء أخرى من الأمعاء الدقيقة والغليظة هى داخل البريتون.

25.1د تنظيم الجهاز الهضمى

تتحكم الآليات العصبية والهرمونية والباراكرينية فى حركة وإفراز الجهاز الهضمى.تشمل الضوابط العصبية ردود الفعل الذاتية القصيرة والطو يلة. فى القصير
الانعكاسات)الميينتيريّة(، التمدد أو التحفيز الكيميائى للجهاز الهضم ى يعمل من خلال الضفيرة الميينتيرية لتحفيز التقلصات فى المناطق القريبة من العضلة الخارجية، مثل التقلصات الدودية للبلع. الانعكا سات الطويلة)العصب المبهم(تعمل من خلال ألياف الأعصاب الذا تية التى تنقل الإشارات الحسية من الجهاز الهضمى إلى جذع الدماغ و الأوامر الحركية عائدة إلى الجهاز الهضمى. ألياف العصب المبهم البارا سمباثاويّة مهمة بشكل خاص فى تحفيز حركة الجهاز الهضمى والإفراز ات عبر هذه الانعكاسات الطويلة.

ينتج الجهاز الهضمى أيضًا العديد من الهرمونات)مثل الجاسترى ن و السيكرتين(والإفرازات الجارغدية)مثل الهيستامين و البروستاج لاندينات(التى تحفز وظيفة الهضم.
تُفرز الهرمونات فى الدم وتُحفز أجزاءً بعيدة نسبيًا من الجهاز الهضمى. تنتشر الإفرازات الجارِ إفرازية عبر سوائل الأنسجة وتُحفز الخلايا المس تهدفة القريبة.

والغشاء الدهنىالرباط الأكبريتدلى مثل المئزر من الحافة السفلية الى سرى)*الانحناء الأكبر*(للمعدة، مغطياً الأمعاء الدقيقة بشكل فضفاض. عند حافته السفلية، ينثنى الرباط الأكبر على نفسه ويتجه صعوداً خلف الطبقة السطحية؛ تلتصق الطبقتان بقوة ببعضهما على طول معظم مسارهما. عند الحافة العلوية، تستمر الطبقة المرفوعة كغشاء سيروز ى يغلف الطحال والقولون المستعرض. من القولون المستعرض، ى ستمر إلى جدار البطن الخلفى ويربط القولون. يدعم القولون جزء من ا لمساريقا يسمىالمساريق القولونى. يتميز الغشاءان بمطهر فضفاض ومنسوج جزئياً بسبب التوزيع غير المنتظم للأنسجة الدهنية. فى حالة السمنة، يكون معظم دهون البطن فى المساريق)*دهون المساريق*؛ان ظر الشكل 26.1(.

يلتصق الغشاء الشبكى بثقوب أو مناطق ملتهبة فى المعدة أو ا لأمعاء، ويساهم بخلايا مناعية فى الموقع، ويعزل الالتهابات التى قد تؤدى إلى التهاب الصفاق.
الـomentum الأكبر هو جزء من الخط الدفاعى الأول للجسم ضد ال سموم والعدوى. تجمعات من الأنسجة اللمفاوية تُسمى البقع الحليبية فى الـomentum تقوم بوظيفة "الشرطة"—تجمع البكتيريا، والخلايا الأخرى، والمستضدات من السائل البريتونى، وإذا اكتشفت تهديدًا، تبدأ استجابة مناعية. ومع ذلك، فإنها تفشل فى التعرف على خلايا ال سرطان المنتشرة، التى يمكن أن تتجمع فى الـomentum وتحولها إ لى أرض خصبة لأورام الجهاز الهضمى، والمبيض، وأورام أخرى.

عندما يكون العضو محاطًا بالمساريقا)السيروزا(من جميع الجوا نب، يُعتبر داخل تجويف الصفاق، أو داخل الصفاق. عندما يكون الع ضو ملتصقًا بالجزء الخلفى من الجسم

الشكل 25.4 التجويف الفموى.

لرؤية تصويرية من الوسط انظر الشكل B.2 فى الأطلس B.

تنقسم الشفتان إلى ثلاث مناطق:)1(المنطقة الجلدية ملونة مثل بقية الوجه وتحتوى على بصيلات شعر وغدد دهنية؛ على الشفة العليا، ينمو الشارب فى هذه المنطقة.)2(المنطقة الحمراء)الحمرة(هى المنطقة الخالية من الشعر حيث تلتقى الشفتان)حيث يمكن وضع أحمر الشفاه أو المرهم(. تحتوى على نتوءات جلدية طويلة غير عادية، تسمح للأوعية الدموية الدقيقة والنهايات العصبية بالاقتراب من سطح البشرة. لذلك، هذه المنطقة أكثر احمراراً وحساسية من المنطقة الجلدية. (3) *الغشاء المخاطى الشفوى* هو السطح الداخلى للشفة، المواجه للثة والأسنان. يحتوى على *الغدد الشفوية* المخاطية التى تساهم فى إنتاج اللعاب.

اللسان

اللسان، رغم كونه عضلياً وضخماً، هو عضو مرن وحساس ومتعدد الاستخدامات بشكل ملحوظ. يساعد فى تناول الطعام؛ فهو حساس بما يكفى ليشعر بشعرة ضالة أو حبة رمل فى لقمة الطعام، ويحتوى على مستقبلات حسية للطعم والملمس ودرجة الحرارة، وهى مهمة لقبول أو رفض الطعام؛ يضغط ويكسر الطعام؛ يحرك الطعام بين الأسنان للمضغ مع تجنب أن يُعض؛ يزيل جزيئات الطعام من الأسنان بعد الوجبة؛ يفرز المخاط والإنزيمات؛ يضغط الطعام الممضوغ إلى كتلة ناعمة، أو الكتلة الغذائية)بولس(التى يسهل بلعها؛ يبدأ عملية البلع؛ وهو ضرورى للكلام الواضح. سطحه مغطى بطبقة طلائية حرشفية متعددة الطبقات غير مقرنة ويظهر عليه نتوءات تسمى الحليمات اللسانية وهى موقع معظم براعم التذوق. أنواع الحليمات وحاسة التذوق نوقشت فى الفصل 16، والتشريح العام للسان موضح فى الشكل 25.5.

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

1. ما هو المصطلح الخاص بالغشاء المصلى الذى يعلق الأمعاء من جدار البطن؟
2. أى عملية فسيولوجية فى الجهاز الهضمى تنقل فعليًا المغذيات من الخارج إلى داخل الجسم؟
3. ما هو نوع التفاعل الذى يشكل أساس كل الهضم الكيميائى؟
4. اذكر بعض المغذيات التى يتم امتصاصها دون أن تهضم.

25.2 الفم حتى المرىء

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف التشريح العام للجهاز الهضمى من الفم مرورًا بالمرىء؛

ب. وصف تركيب ووظائف اللعاب؛ و

ح. وصف التحكم العصبى فى إفراز اللعاب والبلع.

25.2أ الفم

يُعرف الفم أيضًا باسم التجويف الفموى)oral(أو التجويف الخدى)buccal( )BUCK-ul(. تشمل وظائفها الابتلاع)تناول الطعام(، والتذوق والاستجابات الحسية الأخرى للطعام، والمضغ، والهضم الكيميائى)يتم هضم النشا جزئيًا فى الفم(، والبلع، والكلام، والتنفس. يُحاط الفم بالخدين والشفاه والحنك واللسان)الشكل 25.4(. الفتحة الأمامية بين الشفتين هى الشق الفموى والفتحة الخلفية التى تؤدى إلى الحلق هى الحلقات[4] (FAW-seez). يبطن الفم بطبقة طلائية حرشفية متعددة الطبقات. هذه الطبقة مقرنة فى المناطق التى تتعرض لأكبر قدر من احتكاك الطعام، مثل اللثة والحنك الصلب، وغير مقرنة فى مناطق أخرى مثل أرضية الفم، والحنك الرخو، والداخل من الخدين والشفتين.

الخدين والشفتين

تحتفظ الخدين والشفتين بالطعام وتدفعانه بين الأسنان للمضغ. هما ضروريان للكلام الواضح ولأفعال المص والنفخ، بما فى ذلك الرضاعة عند الرضع. يرجع امتلاؤهما بشكل رئيسى إلى الدهون تحت الجلد، وعضلات المضغ)العضلة الخدّية(، وعضلة المحيط بالشفتين)عضلة المحيط بالفم(. طية وسطية تسمى الرباط الشفوى[5] تربط كل شفة باللثة، أمامياً بين القواطع. الدهليز هو الفراغ بين الخدين أو الشفتين والأسنان—المساحة التى تُدخل فيها فرشاة الأسنان عند تنظيف السطح الخارجية للأسنان.

[4] *البلعوم* = الحلق

[5] *الشفة* = الشفة؛ *الرباط* = الحبل الصغير

)أ(منظر علوى

)ب(مقطع أمامى، منظر أمامى

الشكل 25.5 اللسان.)أ(منظر علوى)طهرى(.)ب(مقطع أمامى، منظر أمامى. لمقطع تصويرى سهمى، انظر الشكل B.2 فى الأطلس B.

نسيج أكثر إسفنجية ويتكون بشكل رئيسى من العضلات الهيكلية والأ نسجة الغدية، لكنه لا يحتوى على عظم. له بروز مخروطى متوسط، ال لهاة،[6] مرئية فى مؤخرة الفم. تساعد اللهاة فى الاحتفاظ بالطعام داخ ل الفم حتى يكون الشخص مستعدًا للبلع.

فى مؤخرة الفم، تبدأ قوسان عضليان على كل جانب من السقف بالقرب من اللهاة وينزلان إلى الأرضية. القوس الأمامى هو القوس ا لحنكى اللسانى والقوس الخلفى هو القوس الحنكى البلعومى. يشير ا لقوس الأخير إلى بداية البلعوم. تقع اللورتان الحنكية على الجدار بين ا لقوسين.

الأسنان

تُسمى الأسنان مجتمعة الأسنان. تخدم فى مضغ الطعام، حيث تك سره إلى قطع أصغر. هذا لا يجعل الطعام أسهل للبلع فحسب، بل يك شف أيضًا عن مساحة سطحية أكبر لتأثير الإنزيمات الهضمية وبالتالى يسرع الهضم الكيميائى. لدى البالغين عادة 16 سنًا فى الفك السفلى)الفك السفلى(و16 فى الفك العلوى)الفك العلوى(. من الخط الوسى ط إلى الخلف فى كل فك، هناك نابان، وواحد كلب، واثنان من الضوا حك، وحتى ثلاثة أضراس على كل جانب)الشكل 25.6(. القواطع هى الأسنان الأمامية، على شكل إزميل، تُستخدم لقطع قطعة من الطعام. الأنياب أكثر حدة وتعمل على ثقب وتمزيق الطعام. كانت تُستخدم كأسلحة فى العديد من الثدييات لكنها تقلصت خلال تطور الإنسان ح تى أصبحت بالكاد تبرز فوق الأسنان الأخرى. الضواحك و الأضراس لها أسطح عريضة ومتكتلة نسبيًا مناسبة للسحق والتمزيق والطحن؛ وتُسمى بشكل غير رسمى *الطواحن*.

[6] *اللهاة* = عنب صغير

▶▶▶ طبق ما تعرفه

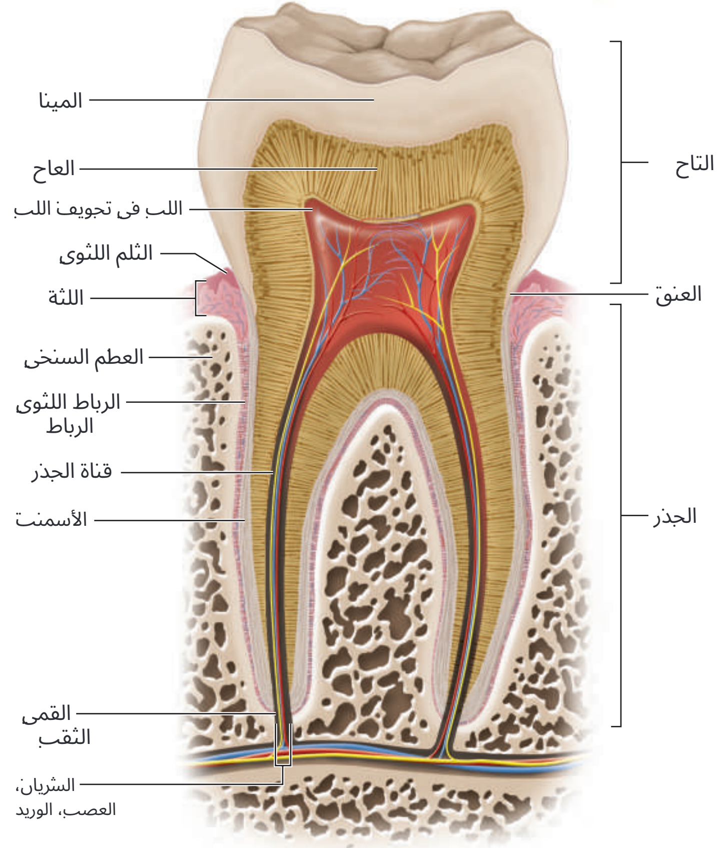
كيف تحمى الحس العميق)الإحساس الذاتى(اللسان من أن يُع ض؟

ثلثا اللسان الأماميان، المسمى الجسم، يشغلان تجويف الفم؛ وا لثلث الخلفى، الجذر، يشغل البلعوم الفموى. يُحدد الحد الفاصل بينه ما صف على شكل حرف V من الحليمات الفاليتية، وخلفها أخدود ى سمى الأخدود النهائى. يرتبط الجسم بأرضية الفم بواسطة طية وسط ية تسمى الرباط اللسانى.

عضلات اللسان، التى تشكل معظم كتلته، موصوفة فى الجدول 10.2. العضلات الداخلية، الموجودة بالكامل داخل اللسان، تنتج الحر كات الدقيقة للسان أثناء الكلام. أما العضلات الخارجية فتنشأ من مر فقات خارج اللسان وتنتج معظم الحركات الأقوى للسان فى تحريك ا لطعام. تشمل العضلات الخارجية *العضلة الذقنية اللسانية، العضلة ا للسانية اللامية، العضلة الحنكية اللسانية،* و *العضلة اللسانية الزجاجي ة*)الشكل 25.5ب؛ انظر أيضًا الشكل 10.10(. داخل اللسان، بين الع ضلات، توجد الغدد اللسانية المصلية والمخاطية، التى تفرز جزءًا من اللعاب. اللورتان اللسانيتان موجودتان فى الجذر.

الحنك

يفصل الحنك، الذى يفصل تجويف الفم عن تجويف الأنف، بينهما م ما يجعل التنفس أثناء مضغ الطعام ممكنًا. الجزء الأمامى منه، الحنك الصلب)العظمى(، مدعوم بواسطة النتوءات الحنكية للفك العلوى وا لعظام الحنكية الأصغر. يحتوى على نتوءات عرضية تسمى التجاعيد ا لحنكية التى تساعد اللسان فى الإمساك بالطعام وتحريكه. خلف هذا يوجد الحنك الرخو، الذى له



الشكل 25.7 هيكل السن وتجويفه السنخى. يُظهر التشريح النموذجى للسن والأنسجة اللثوية. هذا المثال خاص بطحنية.

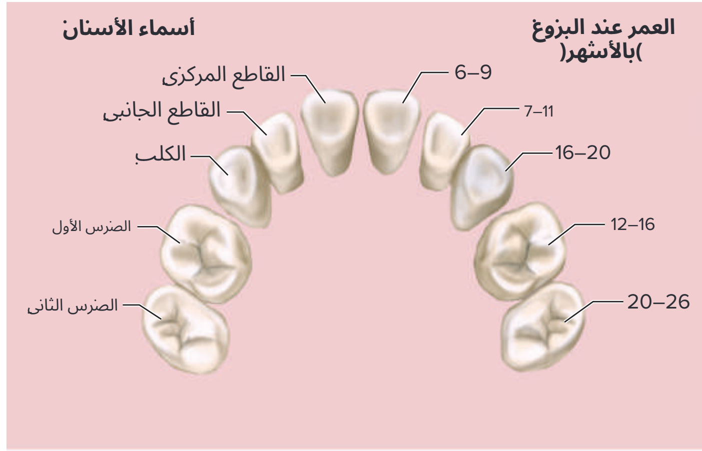
من بين جميع المكونات المعروضة هنا، أى منها ليس نسيجًا حيًا؟

السلامة على مدى حياة من تمزيق وطحن كمية كبيرة من الطعام. الإد راك الحسى للأسنان)الإحساس الذاتى للأسنان(ضرورى لذلك؛ فهو يمكّن الدماغ من مراقبة نسيج وصلابة الطعام مع تنظيم إيقاع وقوة الم ضغ المثلى. هذه إحدى الطرق التى نعرف بها متى مضغنا الطعام بما يكفى لابتلاعه. كما أنها السبب فى أننا نستطيع الشعور بجزيئات صغ يرة من الطعام عالقة بين الأسنان. الأشخاص الذين يفقدون هذا الإح ساس، كما فى المرضى الذين يستخدمون أطقم أسنان أو زرعات سن ية صناعية، أو أحيانًا فى بعض الاضطرابات العصبية، يكونون عرضة لإلحاق الضرر بأسنانهم بسبب قوة العض الزائدة، أو عادة شد الفك، أ و طحن الأسنان أثناء النوم)الصرير(. يعانون من تآكل الأسنان بشكل سريع غير طبيعى، وزيادة معدل حدوث اضطرابات المفصل الصدغى الفكى)TMJ(وكسور سنية كارثية.

اللثة، أو اللثة)JIN-jih-vuh(، تغطى العطم السنخى.

تُعرّف مناطق السن بناءً على علاقتها باللثة:

التاج هو الجزء فوق التثبيت فى اللثة؛ الجذر هو الجزء تحت اللثة، الم دمج فى العطم السنخى؛ و العنق هو النقطة التى يلتقى فيها التاج وا لجذر واللثة. الفراغ بين السن واللثة هو الأخدود اللثوى. نظافة هذا الأخ دود مهمة بشكل خاص لصحة الأسنان)انظرنظرة أعمق 25.1(. مع بع ض الاختلاف، القواطع والأنياب لها جذر واحد؛ الضواحك لها جذر واحد أو اثنان؛



)أ(الأسنان اللبنية)أسنان الأطفال(



)ب(الأسنان الدائمة

الشكل 25.6 الأسنان.)أ(الأسنان اللبنية)أسنان الأطفال(.)ب(الأسنان الدائمة)الأسنان البالغة(. كل شكل يُظهر فقط الأسنان الع لوية. أعمار البزوغ هى أعمار مركبة لـ الأسنان العلوية والسفلية المقابلة. عمومًا، تظهر الأسنان السفلية)ا لفكية السفلية(قبل نظيراتها العلوية)الفكية العلوية(إلى حد ما.

APR

ما هى الأسنان الغائبة عند طفل يبلغ من العمر ٣ سنوات؟

كل سن مغروس فى تجويف يُسمى التجويف السنخى، مكونًا وصلة تُسمى *المفصل السنخى* بين السن والعطم)الشكل 25.7(. تبطن التجويف السنى بواسطة رباط دواعم السن)PERR-ee-oh-DO N-tul(، وهو غشاء عطمى معدل تخترق ألياف الكولاجين ف يه العطم من جانب والسن من الجانب الآخر. يثبت هذا الرباط السن بقوة فى التجويف السنى لكنه يسمح بحركة طفيفة تحت ضغط الم ضغ. يوزع قوى المضغ وبالتالى يحمى الأسنان من التشقق. يتم تعص يب الرباط بألياف عصبية حسية ذاتية تمكن من الإحساس بحركات ا لسن وقوة العض. يجب أن تجمع الأسنان بين المتانة الصلبة والحسا سية والتحكم العصبى للحفاظ على هيكلها

وتنزلق فوق بعضها البعض أثناء تحركات المضغ الجانبية للفك. هذا يطحن ويمزق الطعام بشكل أكثر فعالية مما لو كانت الأسطح الإ طباقية مسطحة.

تتطور الأسنان تحت اللثة وتبرز)تظهر(بترتيب متوقع. تبرز ع شرون سناً لبنياً)*أسنان الحليب* أو *أسنان الأطفال*(من عمر 6 إلى 30 شهرًا، بدءًا من القواطع)الشكل 25.6أ(. بين عمر 6 و25 سنة، تُس تبدل هذه بما يصل إلى 32 سنًا دائمة. عندما ينمو سن دائم تحت س ن لبنى)الشكل 25.8(، يذوب جذر السن اللبنى ويبقى القليل سوى ا لتاج بحلول الوقت الذى يتساقط فيه. تبرز الأضراس الثالثة)*أضراس العقل*(حوالى أعمار 17 إلى 25، إن ظهرت أصلاً. على مدار تطور الإن سان، أصبح الوجه أكثر تسطحًا والفك أقصر، مما ترك مساحة قليلة ل لأضراس الثالثة. لذلك، غالبًا ما تبقى تحت اللثة وتصبح *محشورة* — مكتظة جدًا ضد الأسنان والعظم المجاور بحيث لا يمكنها الظهور.



نظرة أعمق 25.1

تطبيق سريرى

أمراض الأسنان واللثة

يحتوى الفم البشرى على أكثر من 700 نوع من الكائنات الدقيقة، وخاصة البكتيريا. تشكل البكتيريا والسكريات بقايا لزجة على الأسنان تُسمى اللويحة السنية)plaque(. إذا لم تُزال اللويحة بشكل كامل عن طريق التفريش والخيط، تتكاثر البكتيريا، وتستقلب السكريات، وتفرز أحماض اللاكتيك وأحماض أخرى. تذيب هذه الأحماض معادن المينا والعاج، وتقوم البكتيريا بتحليل الكولاجين والمكونات العضوية الأخرى إنزيميًا. تُعرف التجاويف المتآكلة فى الأسنان باسم تسوس الأسنان)dental caries)[7]. إذا لم تُعالج، قد يخترق التسوس العاج بالكامل وينتشر إلى تجويف اللب. يتطلب ذلك إما خلع السن أو علاج قناة الجذر)root canal therapy(، حيث يُزال اللب ويُستبدل بمادة خاملة.

عندما تتكلس اللويحة على سطح السن، تُسمى الجير)calculus أو tartar(. يتسبب الجير فى الأخدود اللثوى فى تفريق السن عن اللثة ويسمح للبكتيريا بغزو الأخدود. يؤدى ذلك إلى التهاب اللثة)gingivitis(، وهو التهاب فى اللثة. يعانى معظم الناس من التهاب اللثة فى وقت ما. فى بعض الحالات، تنتشر البكتيريا من الأخدود إلى العظم السنخى وتبدأ فى إذابته، مما يؤدى إلى مرض اللثة)periodontal disease(. حوالى 86% من الأشخاص فوق سن 70 يعانون من درجة ما من مرض اللثة ويعانى الكثيرون من فقدان الأسنان نتيجة لذلك. يشكل هذا 80% إلى 90% من فقدان الأسنان لدى البالغين.

25.2ب المضغ

المضغ)التمضغ(يكسر الطعام إلى قطع صغيرة بما يكفى لابتلاعها ويكشف عن سطح أكبر لتأثير الإنزيمات الهضمية. إنها الخطوة الأولى فى الهضم الميكانيكى.

يتطلب المضغ القليل من التفكير لأن الطعام يحفز مستقبلات الفم التى تُشغّل رد فعل المضغ التلقائى. تقوم عضلات اللسان، والبوكسينا تور، وعضلة المحيط بالفم)الأوربيكيولاريس أوريس(بتحريك الطعام ودفعه بين الأسنان. تنتج عضلات الماسيتر والتيمبوراليس حركة السحق صعودًا وهبوطًا بواسطة الأسنان، بينما تنتج عضلات البتيريويد الجانبية والوسطى والماسيتر حركة الطحن الجانبية)انظر الشكل 10.11(.

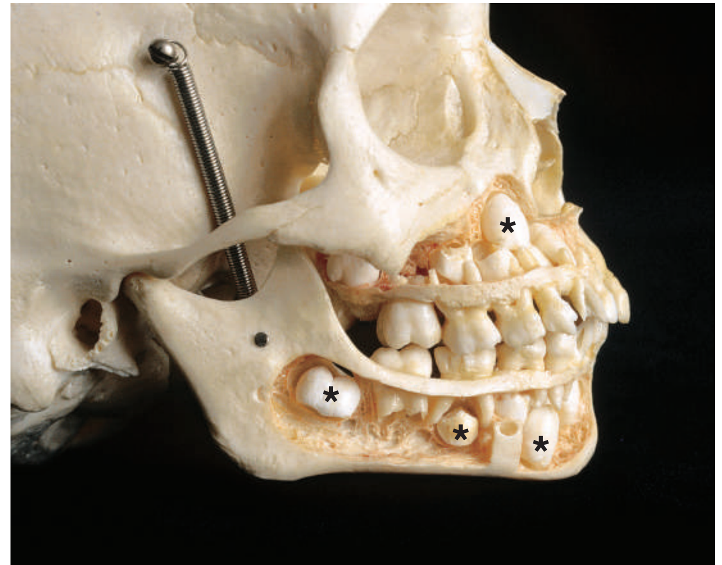
الأضراس الأولى والثانية لها جذران إلى ثلاثة جذور؛ وفى الضرس الثالث، عادةً ما تندمج الجذور فى جذر واحد.

معظم السن يتكون من نسيج صلب أصفر يُسمى العاج، مغطى بالمينا فى التاج و بالأسمنت فى الجذر. العاج والأسمنت هما نسيجان ضامان حيان يحتويان على خلايا أو امتدادات خلوية مدمجة فى مصفوفة متكلسة. خلايا الأسمنت)*خلايا الأسمنت*(موزعة بشكل عشوائى إلى حد ما وتحتل فراغات صغيرة تشبه فجوات العظم. خلايا العاج)*خلايا الأسنان*(تبطن تجويف اللب ولها امتدادات رفيعة تمر عبر أنفاق متوازية فى العاج.

المينا ليست نسيجًا بل إفراز خالى من الخلايا يُنتج قبل بزوغ السن فوق اللثة. يمكن للعاج والأسمنت التالفين أن يتجددا، لكن المينا التالفة لا يمكن ذلك—يجب إصلاحها صناعيًا.

داخليًا، يحتوى السن على تجويف لب متسع فى التاج وقناة جذر ضيقة فى الجذر السفلى. هذه الفراغات مشغولة بـ اللب — كتلة من النسيج الضام الرخو، والأوعية الدموية واللمفاوية، والأعصاب. تدخل هذه الأعصاب والأوعية السن عبر مسام، وهو الثقب القمى عند الطرف القاعدى لكل قناة جذر.

التقاء الأسنان عند إغلاق الفم يُسمى الإطباق والأسطح التى تلتقى فيها تُسمى الأسطح الإطباقية)ah-CLUE-zul(. الأسطح الإطباقية للأضراس الصغيرة والأضراس لها نتوءات مستديرة تُسمى الحدبات — اثنتان على كل ضرس صغير وأربع إلى خمس على الأضراس. تتشابك حدبات الأضراس الصغيرة والأضراس العلوية والسفلية عند إغلاق الفك



الشكل 25.8 الأسنان الدائمة واللبنية فى جمجمة الطفل. يُظهر هذا التشريح الأسنان اللبنية البارزة، وأسفلها وبعمق، وموسومة بالنجوم، الأسنان الدائمة التى تنتظر البزوغ.

[7] تسوس = تعفن

25.2ح اللعاب والغدد اللعابية

الرطوبة اللعابية تنظف الفم، وتثبط نمو البكتيريا، وتذيب الجزيئات بح يث يمكنها تحفيز براعم التذوق، وتهضم كمية قليلة من النشا والدهو ن، وتسهل البلع عن طريق ربط جزيئات الطعام إلى كتلة ناعمة)الكرة ا لغذائية(وتزليقها بالمخاط. وهى محلول منخفض التوتر يحتوى على 9 7.0% إلى 99.5% ماء، ودرجة حموضة تتراوح بين 6.8 إلى 7.0، والمذ اب فيه ما يلى:

- المخاط، الذى يربط ويزلق الكرة الغذائية؛
- الإلكتروليتات، أملاح Na^+، K^+، Cl^-، الفوسفات، و بيكربونات؛
- الليزوزيم، إنزيم يقتل البكتيريا؛
- الجلوبيولين المناعى أ)IgA(، مضاد حيوى للبكتيريا؛
- الأميلاز اللعابى، إنزيم يبدأ هضم النشا فى الفم؛ و
- الليباز اللسانى، إنزيم يبدأ هضم الدهون فى الفم)ولكن بشكل رئيسى بعد بلع الطعام(.

الغدد اللعابية

هناك نوعان من الغدد اللعابية، الغدد الذاتية والغدد الخارجية.

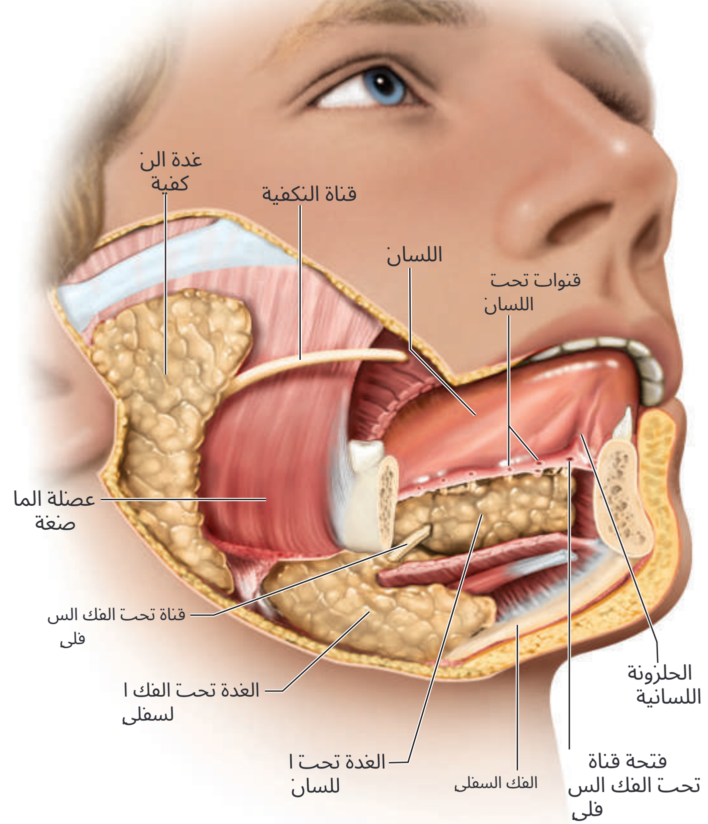
الغدد اللعابية الذاتية)الصغيرة(هى عدد غير محدد من الغدد الصغيرة المنتشرة بين الأنسجة الفموية الأخرى—غدد اللسان فى اللسان، الغ دد الشفوية على الجانب الداخلى من الشفاه، الغدد الحنكية فى الحن ك، والغدد الخدية على الجانب الداخلى من الخدين. تفرز كميات صغ يرة من اللعاب السميك نسبيًا بمعدل ثابت إلى حد ما سواء كنا نأكل أ م لا. يحتوى هذا "اللعاب غير المحفز" على الليباز اللسانى واللايزوزيم، ويرطب الفم عندما لا نأكل، ويحمى الأسنان من خلال معادلة الأحما ض التى تنتجها البكتيريا الفموية والتى تدخلها بعض الأطعمة والمشر وبات. كما أنه يحبس البكتيريا التى تُبتلع بعد ذلك، مما يمنعها من ال تكتل وتكوين مستعمرات على الأسنان.

يحتوى على عوامل نمو عصبية وطهارية، مما يعزز الشفاء الأسرع للجر وح الفموية مثل تلك الناتجة عن الأطعمة الخشنة. الأشخاص الذين يع انون من نقص اللعاب)كما فى متلازمة سجوجرن وتأثيرات العلاج الإ شعاعى(قد يصابون بتليين الأسنان إلى درجة تمنعهم من المضغ بش كل صحيح.

الغدد اللعابية الخارجية)الكبيرة(هى ثلاثة أزواج من الأعضاء الأك بر والأكثر تميزًا الموجودة خارج الغشاء المخاطى الفموى.

هى غدد مركبة أنبوبية حويصلية)انظر الشكل 5.31(مع نظام قنوات يشبه الشجرة يؤدى إلى تجويف الفم)الشكل 25.9(. الحويصلات الإفر ازية فى نهايات الفروع تكون فى بعض الحالات مخاطية بحتة، وفى حا لات أخرى مصلية بحتة، وفى الحويصلات المختلطة تتكون من خلايا م خاطية ومصلية معًا)الشكل 25.10(. تفرز الخلايا المصلية سائلاً مائيًا غنيًا بالإنزيمات والإلكتروليتات. الأزواج الثلاثة من الغدد اللعابية الخار جية هى كما يلى:

1. الغدد النكفية تقع تحت الجلد مباشرة أمام شحمة الأذن. يمر ال قناة النكفية بشكل سطحى فوق عضلة الماضغة، تخترق عضلة ا لخد، وتفتح فى الفم مقابل الضرس العلوى الثانى. النكاف هو ا لتهاب فيروسى وتورم فى الغدد النكفية.



الشكل 25.9 الغدد اللعابية الخارجية. تم حذف جزء من الفك الس فلى لكشف الغدة تحت اللسان الموجودة فى الوسط منها.

APR

2. الغدد تحت الفك السفلى تقع فى منتصف جسم الفك السفل ى، على الجانب الوسيط من حافته، مباشرة تحت عضلة الميل يهويد. تفرغ قناة الغدة تحت الفك السفلى فى الفم عند حل مة على جانب الرباط اللسانى، بالقرب من القواطع السفلية ا لوسطى.
3. الغدد تحت اللسان تقع فى أرضية الفم. لها قنوات متعددة ت فرغ فى الفم خلف حليمات قنوات الغدة تحت الفك السفلى.

اللعاب

تفرز الغدد اللعابية الخارجية من 1.0 إلى 1.5 لتر من اللعاب يوميًا، ب شكل رئيسى استجابةً لوجود الطعام فى الفم. يتحكم فى اللعاب بشك ل رئيسى ألياف الأعصاب اللاودية التى تنشأ من مجموعة من النوى ا للعابية الموجودة فى جذع الدماغ بالقرب من تقاطع الجسر والنخاع الم ستطيل. تنتقل الألياف قبل العقدة من هنا عبر الأعصاب الوجنية وال لسانية البلعومية إلى العقد الموجودة فى وحول الغدد اللعابية؛ ثم تكم ل الألياف بعد العقدة القصيرة الطريق من هناك إلى خلايا الغدة نفسه ا)انظر الشكل 15.7(.

تقوم ألياف الأعصاب الودية أيضًا بتعصيب الغدد اللعابية، وتنشأ من العقدة العنقية العلوية للجهاز العصبى الودى.

---

[8] *بجانب* = بجانب؛ *أذن* = أذن

تصفّى الماء والإلكتروليتات من الدم وتصنيف منتجاتها الإفرازية الخا صة إلى المرشح—الأميلاز، الليباز اللسانى، الليزوزيم، \والمخاط. تعدل خلايا القنوات تركيبة الإلكتروليتات فى اللعاب. يبدأ الأميلاز اللعابى بهضم النشا أثناء مضغ الطعام؛ يبدأ الليباز اللسانى هضم الدهون إلى حد بسيط؛ ويربط المخاط جزيئات الطعام الممضوغ إلى كتلة سهلة ال بلع. بدون المخاط، يجب شرب كمية أكبر بكثير من السوائل لابتلاع ال طعام.

25.2d البلعوم

البلعوم، الموصوف فى القسم 22.1ب، هو قمع عضلى يربط التجويف الفموى بالمرىء والتجويف الأنفى بالحنجرة؛ وهو نقطة تلاقى المسال ك الهضمية والتنفسية. يحتوى على طبقة عميقة من العضلات الهيك لية الموجهة طولياً وطبقة سطحية من العضلات الهيكلية الدائرية.

ينقسم العضلة الدائرية إلى العضلات الضاغطة البلعومية العلوية والو سطى والسفلية، التى تدفع الطعام إلى الأسفل أثناء البلع. عندما لا ى تم بلع الطعام، تبقى العضلة الضاغطة السفلية منقبضة لمنع دخول ا لهواء إلى المرىء.
يُعتبر هذا التضيق بمثابة المصرة المريئية العلوية، على الرغم من أنها ليست ميزة تشريحية ثابتة فى المرىء. تختفى عند الوفاة عندما تس ترخى العضلة. لذلك، تُعتبر مصرة فسيولوجية بدلاً من هيكل تشريحى دائم.

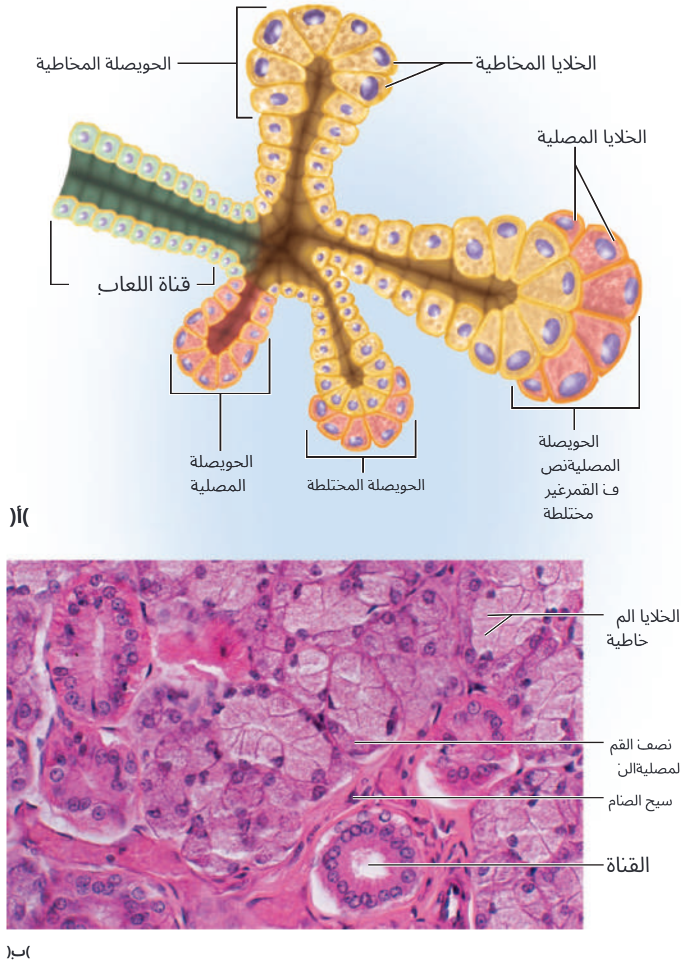
25.2e المرىء

المرىء هو أنبوب عضلى مستقيم طوله من 25 إلى 30 سم)انظر الأ شكال 25.1، 25.2(. يبدأ عند مستوى بين الفقرة C6 والغضروف الح لقى، أسفل الحنجرة وخلف القصبة الهوائية. بعد مروره إلى الأسفل ع بر المنصف، يخترق الحجاب الحاجز عند فتحة تسمى الفتحة المريئية، ويستمر لمسافة 3 إلى 4 سم أخرى، ويلتقى بالمعدة عند مستوى ال فقرة T7. يُسمى مدخله إلى المعدة الفتحة القلبية)سميت بذلك لقر بها من القلب(. يتوقف الطعام لفترة وجيزة عند هذه النقطة قبل دخو ل المعدة بسبب تضيق يسمى المصرة المريئية السفلية)LES(.

عادةً ما تمنع المصرة المريئية السفلية محتويات المعدة من الارتجاع إ لى المرىء، مما يحمى مخاطية المرىء من التأثير التآكلى لحمض المع دة. "حرقة المعدة" لا علاقة لها بالقلب، بل هى الإحساس بالحرقان ال ناتج عن ارتجاع الحمض إلى المرىء.

جدار المرىء منظم إلى طبقات نسيجية كما وُصفت سابقًا، مع بعض التخصصات الإقليمية. تحتوى المخاطية على ظهارة حرشفية م تعددة الطبقات غير متقرنة. تحتوى الطبقة تحت المخاطية على غدد مريئية تفرز مخاطًا مرطبًا إلى التجويف. عندما يكون المرىء فارغًا، تك ون المخاطية وتحت المخاطية مطوية بعمق إلى حُزُز طولية، مما يعط ى التجويف شكل نجمى فى المقطع العرضى.

تتكون الطبقة العضلية الخارجية من عضلات هيكلية فى الثلث ا لعلوى من المرىء، ومزيج من العضلات الهيكلية والملساء فى الثلث ا لأوسط، وعضلات ملساء فقط فى الثلث السفلى.



الشكل 25.10 التشريح المجهرى للغدد اللعابية.
)أ(القناة والحويصلات لغدة لعابية عامة تحتوى على مزيج من الخلايا المخا طية والمصلية. غالبًا ما تشكل الخلايا المصلية قبعات على شكل هلال تسم ى نصف أقمار مصلية على نهايات الحويصلات المخاطية.
)ب(علم الأنسجة للغدة اللعابية تحت اللسانية.
ب: دينيس ستريت / ماكجرو هيل

السلسلة والأوعية الدموية المتبعة إلى الغدد)انظر الشكل 15.4(. ومع ذلك، فإن التحفيز الودى ينتج فقط زيادات طفيفة فى اللعاب، وقد يثبطه حتى، كما يحدث عندما ينتج الخوف أو التوتر شعورًا بجفاف الفم.
تستجيب النوى اللعابية لمجموعة واسعة من المحفزات: إحسا س الطعام فى الفم؛ نكهة الطعام التى تستشعرها براعم التذوق، مس تقبلات الشم، والنهايات العصبية الحرة فى الغشاء المخاطى للفم؛ ورا ئحة، أو رؤية، أو تفكير فى الطعام حتى عندما لا يكون الطعام موجودًا فعليًا فى الفم. كما تحفز المهيجات فى البلعوم، المرىء، المعدة، والا ثنى عشر العلوى—مثل الأطعمة الحارة، حمض المعدة، والسموم—إ فراز اللعاب. هذا يساعد على تخفيف وغسل المواد المهيجة.

يؤدى التحفيز اللاودى إلى توسيع الأوعية الدموية إلى الغدد اللعابية وزيادة تدفق الدم. خلايا الحُصيصات الغدية

معظم المرىء يقع فى المنصف. هنا، يغطيه نسيج ضام يُسمى ا لأدفينتيسيا الذى يندمج مع الأدفينتيسيا الخاصة بالقصبة الهوائية وا لشريان الأورطى الصدرى. الجزء القصير أسفل الحجاب الحاجز مغطى جزئيًا بالسيروزا.

25.2f البلع

البلع، أو البلع (DEE-glu-TISH-un)، هو فعل معقد يشمل أكثر من 22 عضلة فى الفم والبلعوم والمرىء، يتم تنسيقه بواسطة مركز ا لبلع، وهو زوج من النوى فى النخاع المستطيل. يتواصل هذا المركز م ع عضلات البلعوم والمرىء عبر الأعصاب الثلاثية التوائم، والوجهية، وا للسانية البلعومية، وتحت اللسانية (الأعصاب القحفية V، VII، IX وX، II). يحدث البلع فى ثلاث مراحل

(الشكل 25.11).

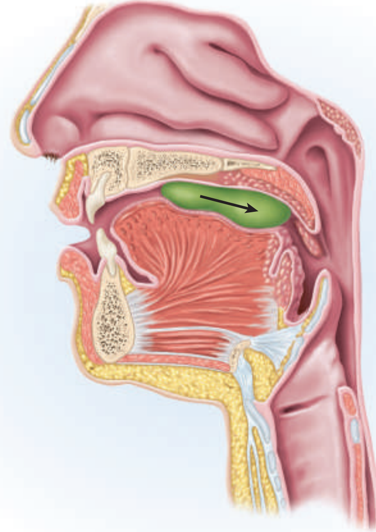
1 المرحلة الفموية تحت السيطرة الإرادية. أثناء المضغ، تجمع الل سان الطعام، تضغطه ضد الحنك لتشكيل كتلة طعام، وتدفعها إ لى الخلف. يتجمع الطعام بذلك فى البلعوم الفمى أمام شفرة ل سان المزمار. عندما تصل كتلة الطعام إلى حجم حرج، يميل ل سان المزمار إلى الخلف وتنزلق الكتلة حوله، عبر فراغ على كل جانب، إلى البلعوم الحنجرى.

2 المرحلة البلعومية لا إرادية. الحنك الرخو وجذر اللسان يمنعان دخول الطعام والشراب إلى التجويف الأنفى أو عودته إلى ال فم. لمنع الاختناق، يتوقف التنفس تلقائيًا، تسحب عضلات تحت اللامية الحنجرة إلى الأعلى لتلتقى بلسان المزمار وتغطى فتحة الحنجرة، وتغلق الأحبال الصوتية مجرى الهواء.

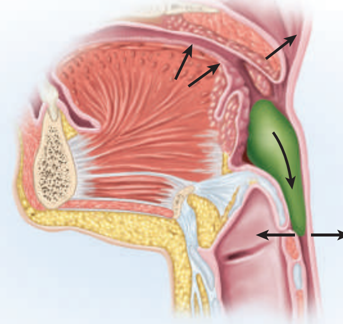
تعمل هذه الأفعال أيضًا على توسيع الجزء العلوى من المرى ء لاستقبال الطعام. تنقبض عضلات البلعوم الضاغطة بالترتيب من العلو إلى الوسط ثم إلى الأسفل، دافعة كتلة الطعام إلى الأ سفل داخل المرىء.

3 مرحلة المرىء هى موجة من التقلصات اللاإرادية تُسمى التمع ج، يتحكم فيها بشكل مشترك مركز البلع فى جذع الدماغ وال ضفيرة الميانتيرية فى جدار المرىء. يحفز الطُعم مستقبلات ا لتمدد التى تغذى الضفيرة، والتى تنقل الإشارات إلى العضلة الخارجية فوق وتحت الطُعم. تضيق طبقة العضلات الدائرية فوق الطُعم وتدفع الطعام إلى الأسفل. أسفل الطُعم، تسترخى العضلات الدائرية بينما تنقبض العضلات الطولية. هذا الإجراء الأخير يسحب جدار المرىء قليلاً إلى الأعلى، مما يجعله أقصر قليلاً ويوسعه لاستقبال الطعام النازل.

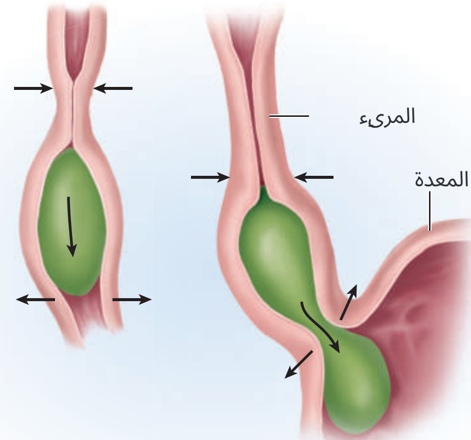
عندما يكون الشخص واقفًا أو جالسًا بشكل مستقيم، يسق ط معظم الطعام والسائل عبر المرىء بفعل الجاذبية أسرع مم ا يمكن لموجة التمعج أن تواكبهم. ومع ذلك، فإن التمعج يدفع قطع الطعام الصلبة أكثر ويضمن أنه يمكنك البلع بغض النظر عن وضعية الجسم—سواء كنت مستلقيًا أو حتى واقفًا على رأ سك! عادةً ما يصل السائل إلى المعدة فى 1 إلى 2 ثانية والطُ عم الغذائى فى 4 إلى 8 ثوانٍ. عندما يصل الطُعم إلى الطرف ا لسفلى للمرىء، يسترخى المصرة السفلية للمرىء للسماح له بالمرور إلى المعدة.



1 المرحلة الفموية. يشكل اللسان كتلة الطعام ويدفعها إ لى البلعوم الحنجرى.



2 المرحلة البلعومية. يحجب الحنك، واللسان، والأحبا ل الصوتية، واللهاة تجاويف الفم والأنف ومجرى اله واء بينما تضغط عضلات البلعوم الضاغطة على كتلة الط عام لدفعها إلى المرىء.



3 المرحلة المريئية. يدفع التمعج كتلة الطعام إلى الأسف ل، ويسترخى المصرة السفلية للمرىء لتسم ح لها بالدخول إلى المعدة.

الشكل 25.11 البلع. راجع الخطوات المرقمة فى النص لمزيد من الشرح.

APR

ما هى الإجراءات التى تمنع البلعوم من دفع الطعام مرة أخرى إلى الفم أو ا لأنف؟

"كيم". يحدث معظم الهضم بعد أن ينتقل الكيم إلى الأمعاء الدقيقة.

25.3أ التشريح الكلى

المعدة على شكل J (الشكل 25.12)، عمودية نسبياً عند الأشخاص ط وال القامة وأقرب إلى الأفقية عند الأشخاص قصيرى القامة. وهى م قسمة إلى أربعة مناطق: (1) الجزء القلبى هو منطقة صغيرة ضمن ح والى 3 سم من فتحة القلب. (2) منطقة القاع (الفوندوس) هى الق بة فوق نقطة ارتباط المرىء. (3) الجسم هو أكبر جزء بعيد عن فتحة ا لقلب. (4) الجزء البوابى هو جيب أضيق قليلاً فى الطرف السفلى؛ و ينقسم إلى قناة تشبه القمع البواب[10] وقناة أضيق البوابية. وتنتهى ا لأخيرة عند البواب،[11] وهو ممر ضيق إلى الاثنى عشر.

البواب محاط بحلقة سميكة من العضلات الملساء، الصمام البوابى، الذى ينظم مرور الكيموس إلى الاثنى عشر.

بين المرىء والاثنى عشر، تحتوى المعدة على هامشين يُطلق عل يهما الانحناء الكبير و الانحناء الصغير. الانحناء الكبير هو الطريق الط ويل حول المعدة، حوالى 40 سم، على السطح السفلى الجانبى. العَجَز الأكبر، الذى يعلو الأمعاء الدقيقة، معلق من الانحناء الكبير. الانحناء ال صغير هو المسافة الأقصر من المرىء إلى الاثنى عشر، حوالى 10 سم، على الحافة العلوية الوسطى المواجهة للكبد. العَجَز الأصغر يمتد بين ا لكبد والانحناء الصغير (انظر الشكل 25.3).

25.3ب التعصيب والدورة الدموية

تتلقى المعدة ألياف الأعصاب اللاودية من العصب المبهم وألياف الأع صاب الودية من العقدة المعوية (انظر الجدول 15.2). كما تنظمها ال ضفيرة المعوية الواسعة التى تم وصفها سابقاً. تتلقى المعدة الدم من فروع الجذع المعوى (انظر القسم 20.7ف، الشكل 20.34ح). كل الدم ا لمصرف من المعدة والأمعاء يدخل الدورة الدموية البابية الكبدية ويُر شح عبر الكبد قبل العودة إلى القلب.

25.3ح التشريح المجهرى

جدار المعدة يحتوى على طبقات نسيجية مشابهة لتلك الموجودة فى المرىء، مع بعض الاختلافات. الغشاء المخاطى مغطى بطبقة طلائية عمودية بسيطة غدية (الشكل 25.13). المناطق القمية لخلاياها مملو ءة بالميوسين؛ بعد إفرازه، ينتفخ الميوسين بالماء ويصبح مخاطاً. الغ شاء المخاطى وتحت المخاطى مستويان وناعمان عندما تكون المعدة ممتلئة، ولكن عند إفراغها، تشكل هذه الطبقات تجاعيد طولية واضحة تُسمى التجاعيد المعدية[12] (ROO-jee). اللويحة الخاصة مشغو لة تقريباً بالكامل بالغدد الأنبوبية، التى سيتم وصفها قريباً. الطبقة الع ضلية الخارجية تتكون من ثلاث طبقات، بدلاً من طبقتين: الطولية الخ ارجية، الدائرية الوسطى، والقطرية الداخلية (الشكل 25.12).

[10] البواب = تجويف
[11] البواب = الحارس
[12] التجاعيد = الطيات، التجاعيد

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

5. أذكر أكبر عدد ممكن من وظائف اللسان.
6. تخيل خطًا من قناة الجذر فى السن إلى العظم المجاور فى الفك الس فلى. سم الأنسجة، بالترتيب، التى يمر بها هذا الخط.
7. ما الفرق فى الوظيفة والموقع بين الغدد اللعابية الداخلية والخار جية؟ سم الغدد اللعابية الخارجية ووصف مواقعها.
8. حدد على الأقل ميزتين نسيجيتين للمرىء مرتبطتين بشكل خاص بدوره فى البلع.
9. وصف الآليات التى تمنع دخول الطعام إلى التجويف الأنفى والحنجرة أثناء البلع.

APR المعدة 25.3

نتائج التعلم المتوقعة

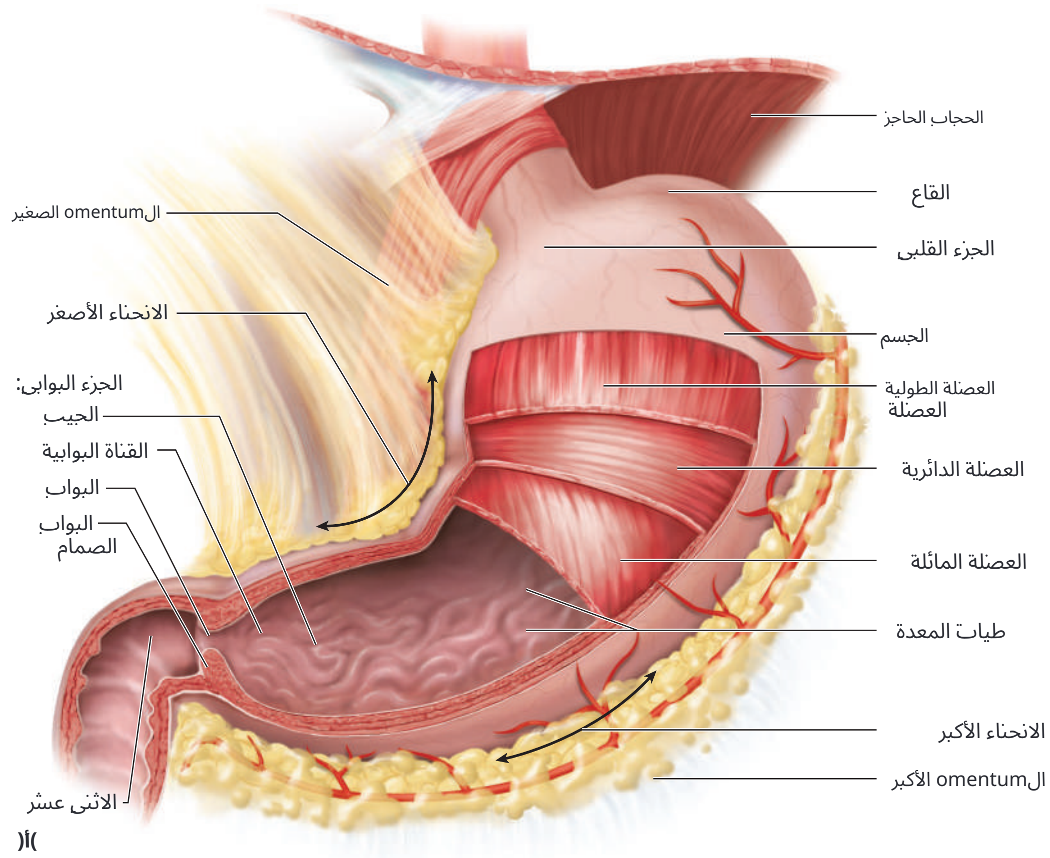
عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

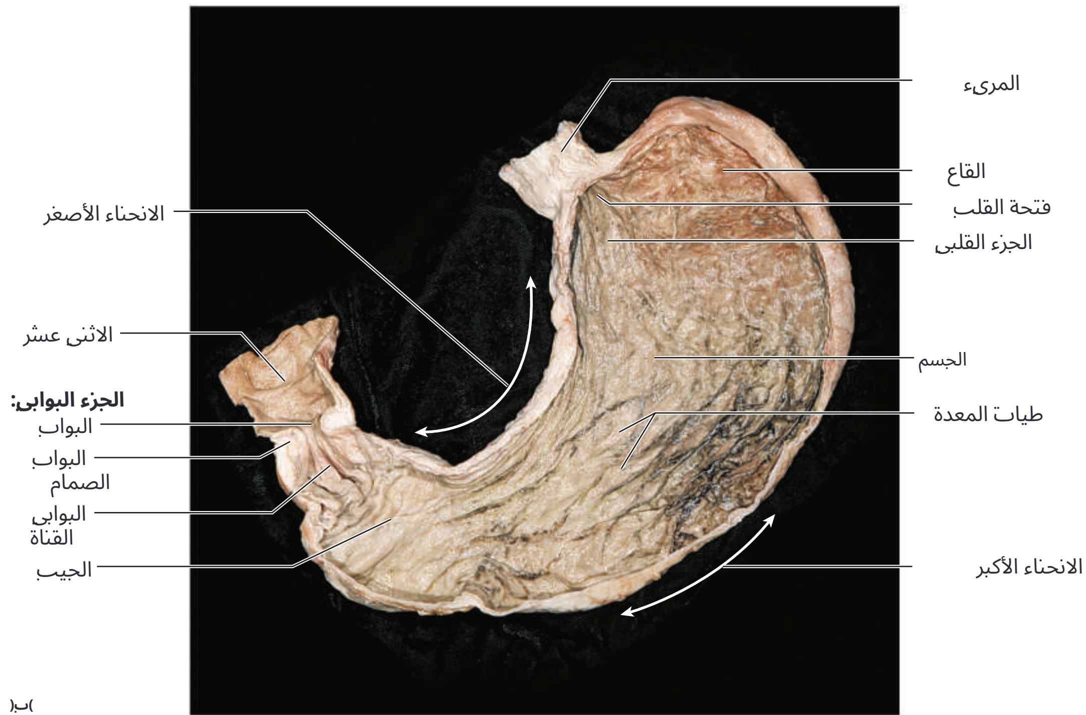
أ. وصف التشريح الكلى والميكروسكوبى للمعدة؛
ب. ذكر وظيفة كل نوع من الخلايا الطهارية فى الغشاء المخاطى المعدى؛
ح. تحديد إفرازات المعدة وذكر وظائفها؛
d. شرح كيف ينتج المعدة حمض الهيدروكلوريك والبيبسين؛
e. وصف الاستجابات الانقباضية للمعدة تجاه الطعام؛ و
f. وصف المراحل الثلاث لوظيفة المعدة وكيف يتم تنشيط النشاط المعدى وتثبيطه.

المعدة هى كيس عضلى فى التجويف البطنى العلوى الأيسر، تقع مبا شرة أسفل الحجاب الحاجز. حوالى نصفها محمى داخل القفص الصدر ى الأيسر السفلى. وظيفتها الأساسية هى تخزين الطعام، بسعة داخلي ة تبلغ حوالى 50 مل عند الفراغ و1.0 إلى 1.5 لتر بعد وجبة عادية. وع ندما تكون ممتلئة للغاية، يمكن أن تستوعب حتى 4 لترات وتمتد تقر يبًا حتى الحوض.

حتى أواخر القرن التاسع عشر، كان يُنظر إلى المعدة على أنها أسا سًا غرفة طحن، أو وعاء تخمير، أو قدر طبخ. بعضهم نسب الهضم إلى روح خارقة فى المعدة. نحن نعلم الآن أنها تقوم بتفتيت جزيئات الطعا م ميكانيكيًا، وتسييل الطعام، وتبدأ الهضم الكيميائى للبروتينات والده ون. هذا ينتج خليطًا حمضيًا، سائلاً أو معجونًا من الطعام نصف المه ضوم يسمى **chyme**[9] (ينطق

[9] chyme = العصير

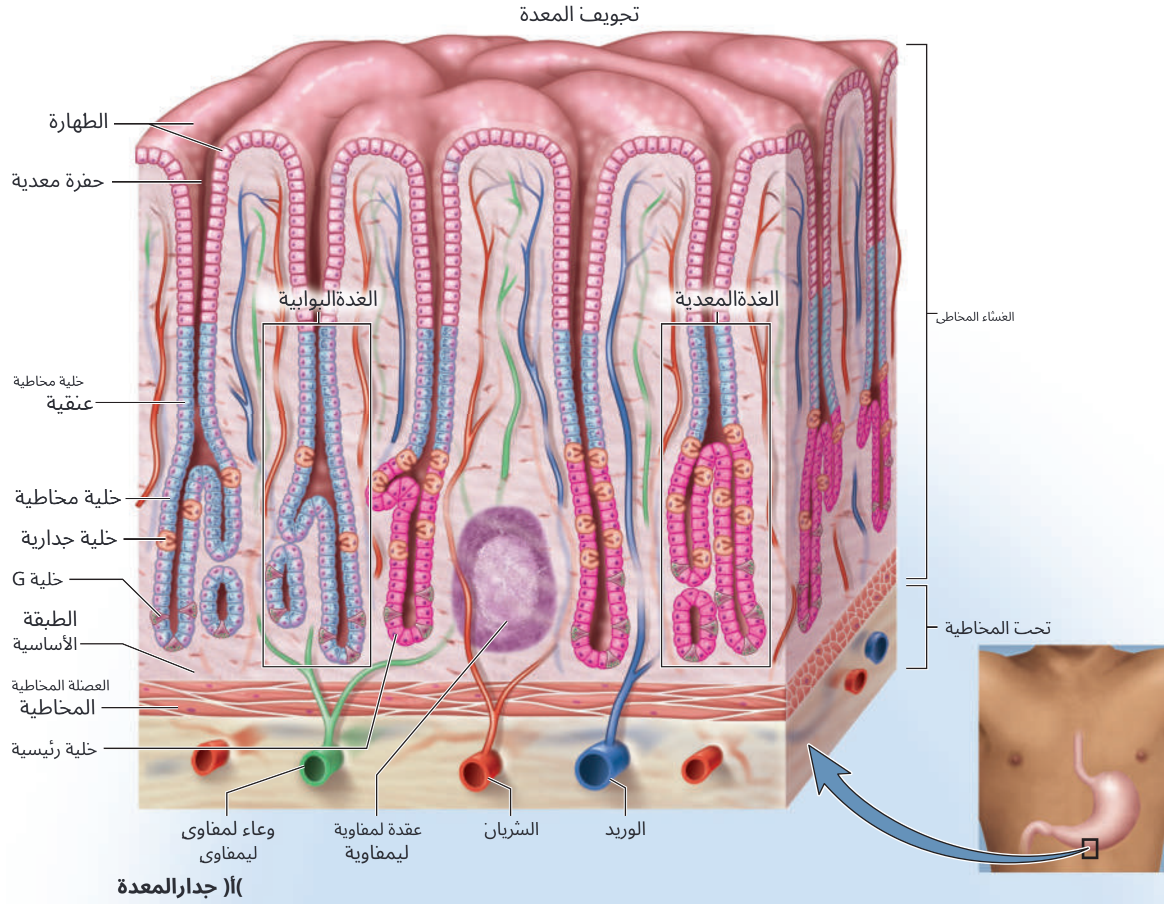




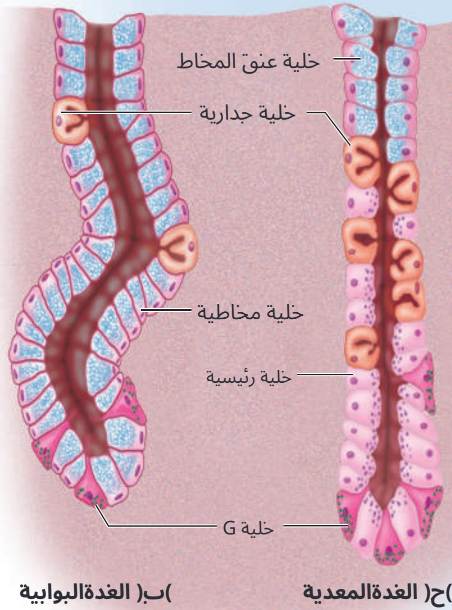
APR الشكل 25.12 المعدة.)أ(التشريح الكلى.)ب(صورة للسطح الداخلى.

كيف يختلف الطبقة العضلية الخارجية للمعدة عن تلك الموجودة فى المرىء؟

ب: ريبيكا غراى/ماكجرو هيل

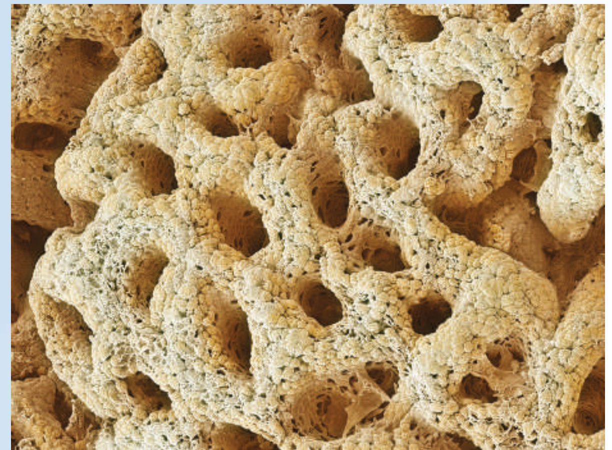


)أ(جدارالمعدة



)ب(الغدةالبوابية

)ح(الغدةالمعدية



)د(حفرالمعدة

الشكل 25.13 غشاء المعدة المخاطى.)أ(طبقات الغشاء المخاطى.)ب(غدة بوابية من الطرف السفلى للمعدة. لاحظ غياب الخلايا الرئيسية وقلة الخلايا الجدارية نسبيًا.)ح(غدة معدية، النوع الأكثر انتشارًا فى المعدة.)د(فتحات حفر المعدة إلى المعدة، محاطة بالأسطح القمية المستديرة لخلايا الطهارة العمودية للغشاء المخاطى)المجهر الإلكترونى الماسح(. APR

d: ستيف غشمايسر/مصدر العلوم

▶▶▶ طبق ما تعرفه

قارن بين طهارة المرىء وطهارة المعدة. لماذا كل نوع طهارة هو الأنسب لوظيفة العضو المعني؟

تحتوى مخاطية المعدة على تجاويف تسمى حفريات المعدة م بطنة بنفس الطهارة العمودية مثل السطح)الشكل 25.13(. تفتح غدد أنبوبية اثنتان أو ثلاث فى قاع كل حفرة معدية وتمتد عبر بقية الصفى حة الخاصة. فى المناطق القلبية والبوابية، تُسمى الغدد القلبية والغدد البوابية على التوالى. فى بقية المعدة، تُسمى الغدد المعدية. تختلف هذه الغدد الثلاثة فى التركيب الخلوى، لكنها تحتوى مجتمعة على الأنو اع الخلوية التالية:

- الخلايا المخاطية التى تفرز المخاط، تهيمن فى الغدد القلبية والبوابية. فى الغدد المعدية، تُسمى خلايا عنق المخاط وتتركز فى عنق ضيق من الغدة، حيث تفتح فى الحفرة المعدية.
- الخلايا المتجددة)الجذعية(، الموجودة فى قاعدة الحفرة وعنق ا لغدة، تنقسم بسرعة وتنتج إمدادًا مستمرًا من الخلايا الجديدة . تهاجر الخلايا الجديدة صعودًا إلى سطح المعدة وكذلك نزولًا إ لى الغدد لاستبدال الخلايا التى تموت.
- الخلايا الجدارية، الموجودة فى الغالب فى النصف العلوى من الغدة، تفرز حمض الهيدروكلوريك، والعامل الداخلى، وهرم ون محفز للشهية يُسمى الغريلين. توجد هذه الخلايا فى الغا لب فى الغدد المعدية، لكن بعضها يوجد فى الغدد البوابية.
- الخلايا الرئيسية، المسماة بذلك لأنها الأكثر عددًا، تفرز الإنزيما ت الليباز المعدى والبيبسينوجين. تهيمن هذه الخلايا على ا لنصف السفلى من الغدد المعدية لكنها غائبة فى الغدد القلبية والبوابية.
- الخلايا المعوية الصماء، التى تتركز بشكل خاص فى الطرف الس فلى من الغدة، تفرز الهرمونات والمرسلات المحلية التى تنظم ا لهضم. توجد هذه الخلايا فى جميع مناطق المعدة، لكنها أ كثر وفرة فى الغدد المعدية والبوابية. هناك ما لا يقل عن ثما نية أنواع من الخلايا المعوية الصماء فى المعدة، كل منها ين تج مرسالًا كيميائيًا مختلفًا.

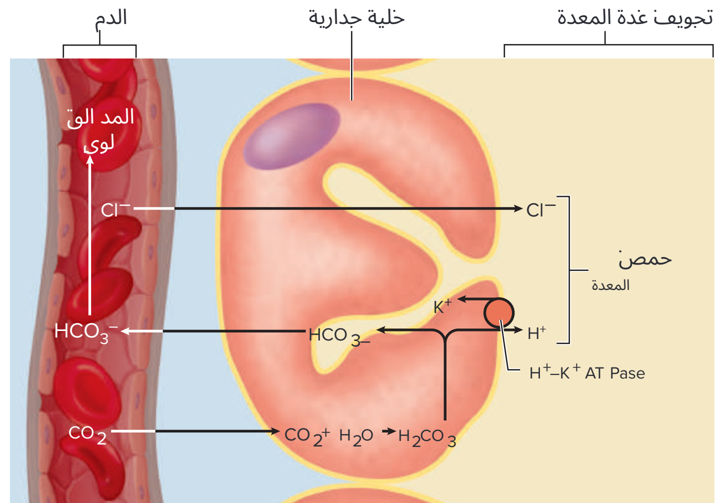
بشكل عام، تفرز الغدد القلبية والبوابية بشكل رئيسى المخاط؛ بي نما يحدث إفراز الحمض والإنزيمات بشكل أساسى فى الغدد المعدية ؛ وتفرز الهرمونات فى جميع أنحاء المعدة.

25.3د الإفرازات المعدية

تنتج الغدد المعدية من 2 إلى 3 لترات من العصارة المعدية يوميًا، وتتكون بشكل رئيسى من الماء، وحمض الهيدروكلوريك، والبيبسين.

حمض الهيدروكلوريك

تحتوى العصارة المعدية على تركيز عالٍ من حمض الهيدروكلوريك)HCl) ودرجة حموضة منخفضة تصل إلى 0.8. هذا أكثر حموضة من حمض بطارية السيارة ومنخفض بما يكفى لإذابة مينا الأسنان أو التسبب بحرق كيميائى على الجلد. فكيف إذًا تنتج المعدة هذا الحمض وتتحمله؟



الشكل 25.14 آلية إفراز حمض الهيدروكلوريك.
تقوم الخلية الجدارية بدمج الماء مع CO_2 من الدم لتكوين حمض الكربونيك)الخط السفلى فى الشكل(. يتحلل حمض الكربونيك إلى أيون البيكربونا ت)HCO_3^-(وأيون الهيدروجين)H^+(. يعود HCO_3^- إلى الدم. بالمقابل، يدخ ل Cl^- إلى التجويف مع H^+ ويتكون الحمض الهيدروكلوريك.

ما الدور الذى يلعبه النقل النشط فى هذه العملية؟

قد تبدو التفاعلات التى تنتج حمض الهيدروكلوريك)الشكل 25.1 4(مألوفة الآن لأنها نوقشت فى الفصول السابقة—مؤخرًا فيما يتعلق بالإفراز الكلوى لأيونات H+ فى الفصل 24. تحتوى الخلايا الجدارية ع لى إنزيم الكربونيك أنهيدراز)CAH(، الذى يحفز الخطوة الأولى فى الت فاعل التالى:



$$CO_2 + H_2O \xrightarrow{CAH} H_2CO_3 \longrightarrow HCO_3^- + H^+.$$

تضخ الخلايا الجدارية أيونات H+ الناتجة من هذا التفاعل إلى تجو يف الغدة المعدية بواسطة بروتين نقل نشط مشابه لمضخة Na+–K +، يسمى مضخة H+–K+ ATPase. هذه مضخة مضادة تستخدم طا قة ATP لضخ H+ خارج الخلية وK+ داخلها. لا يؤثر إفراز حمض الهيد وكلوريك على درجة الحموضة داخل الخلية الجدارية لأن أيونات H+ تُ ضخ خارج الخلية بسرعة مساوية لسرعة إنتاجها. يتم تبادل أيونات ال بيكربونات)HCO3–(مع أيونات الكلوريد)Cl–(من بلازما الدم—وهى نفس عملية "تحول الكلوريد" التى تحدث فى الأنابيب الكلوية وكريات الدم الحمراء—ويتم ضخ أيونات Cl– إلى تجويف الغدة المعدة لتلتح م مع أيونات H+.

وبالتالى، يتراكم حمض HCl فى المعدة بينما تتراكم أيونات البيكر بونات فى الدم. بسبب البيكربونات، يكون الدم الخارج من المعدة ذو درجة حموضة أعلى أثناء الهضم مقارنةً عندما تكون المعدة فارغة. يُط لق على هذا الدم عالى الحموضة الذى يغسل المعدة اسم المد القلوى .

لحمض المعدة عدة وظائف:)1(يُنشط الإنزيمات بيبسين وليبيز اللسانى، كما سيتم مناقشته قريبًا.)2(يفكك الأنسجة الضامة وجدران الخلايا النباتية، مما يساعد على تسييل الطعام وتشكيل الكيموس.)3(يحول أيونات الحديد الثلاثية)Fe^{3+}(المبتلعة إلى أيونات الحديد ال ثنائية)Fe^{2+}(، وهو شكل من الحديد يمكن امتصاصه واستخدامه فى تخليق الهيموغلوبين.)4(يساهم فى المناعة الفطرية عن طريق تدمير معظم مسببات الأمراض المبتلعة.

ب12 عن طريق الحقن، أو فيتامين ب12 والعامل الداخلى عن طريق ال فم. مع التقدم فى العمر، يضمحل الغشاء المخاطى للمعدة ويفرز كمية أق ل من العامل الداخلى، مما يزيد من خطر الإصابة بفقر الدم. يصاب بعض الأشخاص، خاصة فى سن الشيخوخة، بـ *فقر الدم الخبيث* نتيجة مرض م ناعى ذاتى يدمر الغشاء المخاطى للمعدة ويقلل من إفراز العامل الداخلى.

الرسل الكيميائية

تحتوى الغدد المعدية والغدد البوابية على أنواع مختلفة من الخلايا الم عوية الصماء التى تنتج مجتمعة ما يصل إلى 20 هرمونًا وإشارات بارا كرينية. العديد منها عبارة عن ببتيدات تُنتج فى كل من الجهاز الهضم ى والجهاز العصبى المركزى؛ لذلك تُسمى ببتيدات الأمعاء-الدماغ. و تشمل هذه المادة P، الببتيد المعوى الوعائى الفعال)VIP(، السكريتي ن، الببتيد المعدى المثبط)GIP(، الكوليسيستوكينين، والنيوروببتيد Y)NPY(. سيتم شرح وظائف بعض هذه الببتيدات فى الهضم فى الأقسام التالية، وتُناقش أدوارها فى تنظيم الشهية فى ال فصل التالى.

تم تلخيص العديد من الإفرازات المعدية فى الجدول 25.1. بعض الوظائف المدرجة هناك سيتم شرحها لاحقًا فى الفصل.

25.3e حركة المعدة

عندما تبدأ فى البلع، يحفز الطعام مستقبلات ميكانيكية فى البلعوم و تنقل الإشارات إلى النخاع المستطيل. يقوم النخاع بنقل الإشارات إلى المعدة عبر الأعصاب المبهمة.
تستجيب المعدة برد فعل الاسترخاء الاستقبالى،

بيبسين

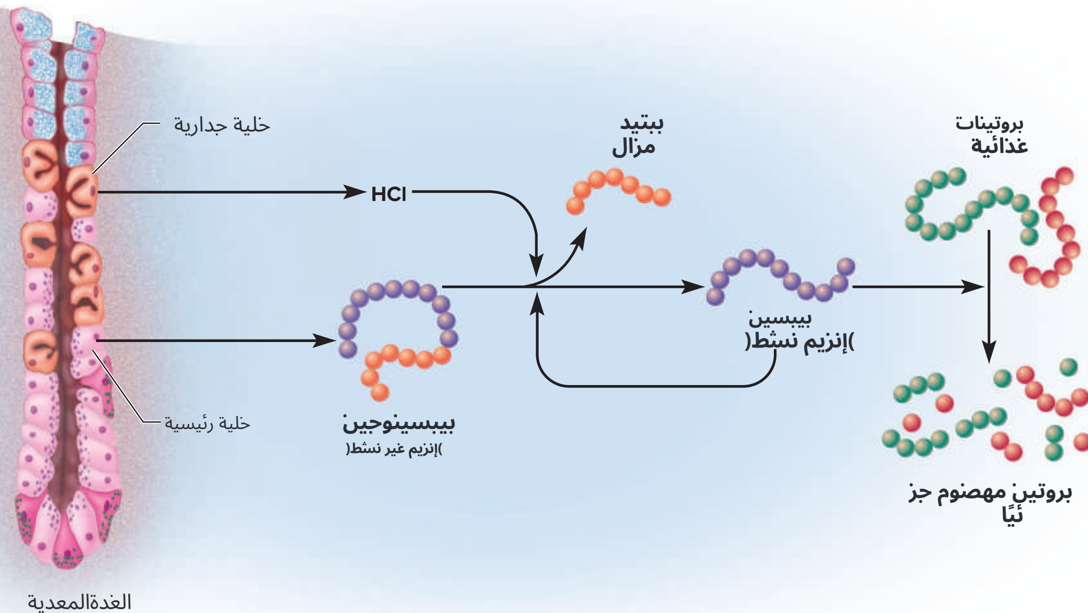
يتم إفراز عدة إنزيمات هضمية على شكل بروتينات غير نشطة تُسمى الزيموجينات ثم تتحول إلى إنزيمات نشطة بإزالة بعض أحماضها الأم ينية. فى المعدة، تفرز الخلايا الرئيسية زيموجينًا يُسمى البيبسينوجين.
يقوم حمض الهيدروكلوريك بإزالة بعض أحماضه الأمينية ويحوّله إلى البيبسين. وبما أن البيبسين يهضم البروتين، والبيبسينوجين نفسه بروتين، فإن للبيبسين تأثيرًا *تحفيزيًا ذاتيًا* — فعندما يتكوّن بعض ال بيبسين، يحول البيبسينوجين إلى المزيد من البيبسين)الشكل 25.1 5(. الوظيفة النهائية للبيبسين، مع ذلك، هى هضم البروتينات الغذائ ية إلى سلاسل ببتيدية أقصر، والتى تنتقل بعد ذلك إلى الأمعاء الدقي قة حيث يكتمل هضمها.

ليباز المعدة

تفرز الخلايا الرئيسية أيضًا ليباز المعدة. هذا الإنزيم وليباز اللسان، الذ ى يلعب دورًا ثانويًا، يهضمان 10% إلى 15% من الدهون الغذائية فى المعدة. ويتم هضم الباقى فى الأمعاء الدقيقة.

العامل الداخلى

تفرز الخلايا الجدارية جليكوبروتينًا يُسمى العامل الداخلى وهو ضرورى لامتصاص فيتامين ب12 بواسطة الأمعاء الدقيقة.
يرتبط العامل الداخلى بفيتامين ب12 ثم تمتص خلايا الأمعاء هذا المر كب عن طريق الالتقام الخلوى المتوسط بالمستقبلات. بدون فيتامين ب12 لا يمكن تصنيع الهيموغلوبين ويتطور فقر الدم.
إفراز العامل الداخلى هو الوظيفة الوحيدة الضرورية للمعدة. يمكن أن يستمر الهضم بعد إزالة المعدة *)استئصال المعدة(*، لكن عادةً ما يج ب على الشخص حينها تناول فيتامين



الشكل 25.15 إنتاج وعمل البيبسين. تفرز الخلايا الرئيسية البيبسينوجين وتفرز الخلايا الجدارية حمض الهيدروكلوريك)HCl(.
يقوم حمض الهيدروكلوريك بإزالة بعض الأحماض الأمينية من البيبسينوجين ويحوّله إلى البيبسين. يحفز البيبسين إنتاج المزيد من البيبسين)تأثير تحفيزى ذاتى(، بالإضافة إلى هضم جزئى للبروتين الغذائى.

الجدول 25.1	**الإفرازات الرئيسية لغدد المعدة**	
الوظيفة	**الإفراز**	**الخلايا الإفرازية**
تحمى الغشاء المخاطى من حمض الهيدروكلوريك والإنزيمات	مخاط	خلايا عنق المخاط
ينشط البيبسين والليباز اللسانى؛ يساعد فى تسييل الطعام؛ يقلل الحديد الغذائى إلى شكل قابل للاستخدام (Fe^{2+})؛ يدمر مسببات الأمراض التى تم ابتلاعها	حمض الهيدروكلوريك	الخلايا الجدارية
يمكن الأمعاء الدقيقة من امتصاص فيتامين ب 12	العامل الداخلى	
تم تحويله إلى بيبسين، الذى يهضم البروتين	بيبسينوجين	الخلايا الرئيسية
يهضم الدهون	ليباز المعدة	
يحفز الغدد المعدية على إفراز حمض الهيدروكلوريك والإنزيمات؛ يحفز حركة الأمعاء؛ يرخى حليمة اللفائفى	جاسترين	الخلايا المعوية الصماء
يحفز حركة المعدة	سيروتونين	
يحفز إفراز حمض الهيدروكلوريك	هيستامين	
يُثبط إفراز المعدة وحركتها؛ يؤخر إفراغ المعدة؛ يُثبط إفراز البنكرياس؛ يُثبط انقباض المرارة وإفراز الصفراء؛ يقلل من الدورة الدموية وامتصاص المغذيات فى الأمعاء الدقيقة	سوماتوستاتين	
أدوار متعددة فى تنظيم الشهية على المدى القصير والطويل وتوازن الطاقة	ببتيدات الأمعاء-الدماغ	

٣.٥٢ف التقيؤ

التقيؤ هو القذف القسرى لمحتويات المعدة والأمعاء (الكيموس) من الفم. يشمل ذلك عدة حركات عضلية متكاملة بواسطة مركز التقيؤ فى النخاع المستطيل. عادةً ما يُحفز التقيؤ بسبب تمدد المعدة أو الاثنى عشر بشكل مفرط؛ المهيجات الكيميائية مثل الكحول وسموم البكتيريا؛ الصدمات الحشوية (خاصة لأعضاء الحوض)؛ الألم الشديد؛ أو المحفزات النفسية والحسية التى تنشط مركز التقيؤ (وبالتالى، يمكن أن يُحفز التقيؤ بواسطة المشاهد والروائح والأفكار المقيتة).

عادةً ما يسبق التقيؤ الغثيان والتجشؤ. فى التجشؤ، يؤدى توسع الصدر وانقباض البطن إلى خلق فرق ضغط يوسع المرىء. يسترخى المصرة المريئية السفلية بينما تنقبض المعدة والاثنى عشر بشكل تشنجى. يدخل الكيموس إلى المرىء لكنه يعود إلى المعدة عندما تسترخى العضلات؛ ولا يتجاوز المصرة المريئية العلوية. غالبًا ما يصاحب التجشؤ تسرع ضربات القلب، وفرط اللعاب، والتعرق. يحدث التقيؤ عندما يؤدى انقباض البطن وارتفاع ضغط الصدر إلى فتح المصرة المريئية العلوية، ويسترخى المرىء وجسم المعدة، ويتم دفع الكيموس خارج المعدة والفم بواسطة انقباض بطنى قوى مع حركة ارتجاعية للمعدة والاثنى عشر. التقيؤ القذفى هو تقيؤ مفاجئ دون غثيان أو تجشؤ مسبق.

قد يكون سببه آفات عصبية ولكنه شائع أيضًا عند الرضع بعد الرضاعة.

يمكن أن يسبب التقيؤ المزمن اختلالات خطيرة فى السوائل، والإلكتروليتات، وتوازن الحمض-القاعدة. فى حالات التقيؤ المتكرر، كما فى اضطراب الأكل *البوليميا*، يتآكل مينا الأسنان بشدة.

حيث تقاوم التمدد لفترة وجيزة ثم تسترخى لاستيعاب الطعام القادم.

سرعان ما تظهر المعدة إيقاعًا من الانقباضات الدودية تحكمه إيقاع كهربائى أساسى تنطلقه خلايا منظم الإيقاع المعوى فى الطبقة العضلية الخارجية. لا يشارك الجزء العلوى من المعدة (القاع) فى هذه الانقباضات، ولكن أسفل القاع، حول منتصف الجسم، يظهر حلقة ضيقة من الانقباض تقريبًا كل 20 ثانية وتتقدم نحو الأسفل باتجاه البواب، وتزداد قوتها مع التقدم. بعد أن يبقى الطعام فى المعدة لمدة حوالى 30 دقيقة، تصبح هذه الانقباضات شديدة بشكل خاص. تقوم هذه الانقباضات بعجن الطعام، وخلطه مع العصارة المعدية، وتعزيز تفتيته الفيزيائى والهضم الكيميائى.

يحتوى الجوف على حوالى 30 مل من الكيموس فى كل مرة. تكون الطبقة العضلية هنا أكثر سمكًا، وتعمل كمضخة جوفية قوية تقوم بتفتيت الطعام نصف المهضوم إلى جزيئات أصغر وتعده للأمعاء الدقيقة. تتقدم موجة انقباض جوفية أمامية نحو صمام البواب وتغلقه بإحكام. ثم تأتى موجة لاحقة، تقوم بالعجن وتفتيت الكيموس. يندفع الكيموس إلى الخلف عبر التضيق اللاحق إلى جسم المعدة، حيث ينتظر الموجة التالية من الانقباض لدفعه للأسفل مرة أخرى. يؤدى الدفع التكرارى للأسفل والاندفاع العكسى للكيموس إلى تفتيت الطعام إلى جزيئات أصغر وأصغر. لا يُسمح لجزيئات الطعام بالمرور إلى الاثنى عشر حتى يتم تقليل حجمها إلى 1 إلى 7 ملم، ويتم ضخ حوالى 3 مل فقط من الكيموس إلى الاثنى عشر فى كل مرة. يسمح إدخال كميات صغيرة فقط إلى الاثنى عشر للأخير بتحييد حمض المعدة وهضم المغذيات تدريجيًا. إذا امتلأ الاثنى عشر بشكل زائد، فإنه يثبط حركة المعدة ويؤجل استقبال المزيد من الكيموس.

يتم إفراغ وجبة نموذجية من المعدة فى حوالى ٤ ساعات، ولكن يستغرق الأمر وقتًا أقل إذا كانت الوجبة أكثر سيولة، ووقتًا أطول إذا كانت محتويات المعدة أكثر حموضة، وقد يصل إلى ٦ ساعات إذا كانت الوجبة غنية بالدهون.

[31] *emet*≂ التقيؤ

1. طبقة المخاط. المخاط السميك والقلوى للغاية يقاوم تأثير الح مض والإنزيمات. كما يوفر هذا المخاط إشارات لخلايا التغصن التى تعزز التسامح مع مستضدات الطعام والبكتيريا المفيدة.

2. الروابط المحكمة. ترتبط الخلايا الطهارية بروابط محكمة تم نع تسرب العصارة المعدية بينها وهضم النسيج الصام الموح ود تحتها.

3. استبدال الخلايا الطهارية. بالرغم من هذه الحمايات الأ خرى، تعيش خلايا الطهارة فى المعدة فقط من 3 إلى 6 أيا م ثم تُطرح فى الكيموس وتهضم مع الطعام. ومع ذلك، يتم استبدالها بسرعة مماثلة عن طريق انقسام الخلايا فى ا لحفر المعدية.

انهيار هذه الآليات الوقائية يمكن أن يؤدى إلى الالتهاب وقرحة المعدة)انظر التعمق 25.2(.

25.3ط تنظيم وظيفة المعدة

يتعاون الجهازان العصبى والغدد الصماء لزيادة إفراز المعدة وحركتها ع ند تناول الطعام، وكبحهما أثناء إفراغ المعدة. تنقسم نشاطات المعدة إلى ثلاث مراحل تسمى المراحل *الرأسية، المعدية،* و *المعوية،* بناءً على ما إذا كانت المعدة تُسيطر عليها الدماغ، أو بنفسها، أو الأمعاء الد قيقة، على التوالى)الشكل 25.17(. تتداخل هذه المراحل ويمكن أن تحدث جميعها فى نفس الوقت.

بواسطة حمض الهيدروكلوريك فى الكيموس. استنشاق)شفط(هذا ا لحمض مدمّر جداً للجهاز التنفسى. توفى العديد بسبب استنشاق الق ىء عندما كانوا فاقدى الوعى أو شبه واعين. هذا هو السبب فى أن ال تخدير الجراحى، الذى قد يسبب الغثيان، يجب أن يسبقه صيام حتى تكون المعدة والأمعاء الدقيقة فارغتين.

25.3ح الهضم والامتصاص

تقوم الإنزيمات اللعابية والمعدية بهضم جزئى للبروتين وكميات أقل م ن النشا والدهون فى المعدة، لكن معظم الهضم وما يقرب من كل ام تصاص المغذيات يحدث بعد مرور الكيموس إلى الأمعاء الدقيقة. الم عدة لا تمتص أى كمية كبيرة من المغذيات لكنها تمتص الأسبرين و بعض الأدوية القابلة للذوبان فى الدهون.
يتم امتصاص الكحول بشكل رئيسى فى الأمعاء الدقيقة، لذا فإن تأثير ه المسكر يعتمد جزئيًا على سرعة إفراغ المعدة.

25.3س حماية المعدة

قد يظن المرء أن المعدة هى عدوها الأكبر؛ فهى، فى النهاية، مصنوعة من اللحم. بعض الناس يستمتعون بـ "هاجيس" و"ترايب"، أطباق م صنوعة من معدة الحيوانات، ولا يواجهون صعوبة فى هضمها. فلماذا إذن لا تهضم المعدة البشرية نفسها؟ الجواب هو أن المعدة الحية مح مية بثلاث طرق من البيئة الحمضية والإنزيمية القاسية التى تخلقها:

نظرة أعمق 25.2

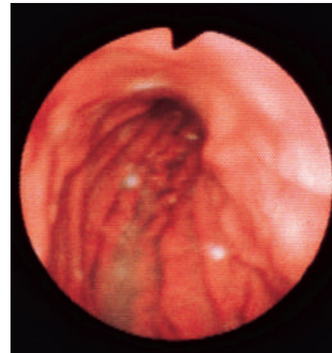


تطبيق سريرى

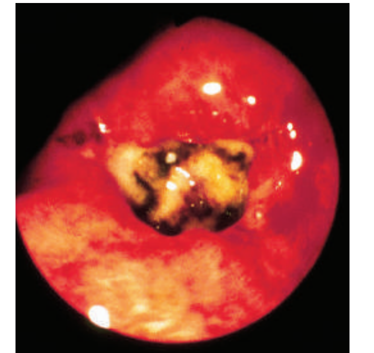
قرحة المعدة

التهاب المعدة، المسمى التهاب المعدة، يمكن أن يؤدى إلى قرحة المعدة حيث تقوم البيبسين وحمض الهيدروكلوريك بتاكل جدار المعدة)الشكل 25.16(.
تحدث القرح الهضمية بشكل أكثر شيوعًا فى الاثنى عشر وأحيانًا فى المرىء. إذا لم تُعالج، فقد تسبب نزيفًا أو تثقبًا فى العضو مما يؤدى إلى التهاب الصفاق—وهما حالتان قد تكونان مميتتين. تحدث معظم هذه الوفيات لدى الأشخاص الذين تزيد أعمارهم عن 65 عامًا.
لا يزال الأمر مثيرًا للجدل فيما إذا كانت القرح الهضمية ناتجة عن التوتر النفس ى. أحيانًا يكون الإفراز المفرط للحامض والبيبسين متورطًا، لكن حتى الإفراز الطبى عى يمكن أن يسبب التقرح إذا تم إضعاف الدفاع المخاطى لأسباب أخرى. معظم ا لقرح تشمل بكتيريا مقاومة للحامض، هيليكوباكتر بيلورى، التى تغزو مخاطية الم عدة والاثنى عشر وتفتح الطريق للتلف الكيميائى للنسيج.

تشمل عوامل الخطر الأخرى التدخين واستخدام الأسبرين والأدوية المضادة للالتها بات غير الستيرويدية)NSAIDs(. تقوم مضادات الالتهاب غير الستيرويدية بكبح تخليق البروستاجلاندينات، التى تحفز عادة إفراز المخاط الواقى وبيكربونات معادلة الحامض.
يمكن علاج معظم القرح بنجاح باستخدام المضادات الحيوية ضد هيليكوباكتر مع معلقات البزموت مثل Pepto-Bismol. هذه دورة علاجية أقصر وأ قل تكلفة بكثير من الأدوية مثل مثبطات الحموضة التى كانت تُستخدم سابقًا كع لاجات أولية. تعالج حوالى 90% من القرح الهضمية، مقارنة بمعدل شفاء يتراوح بين 20% إلى 30% لمثبطات الحموضة مثل 2H blockers.

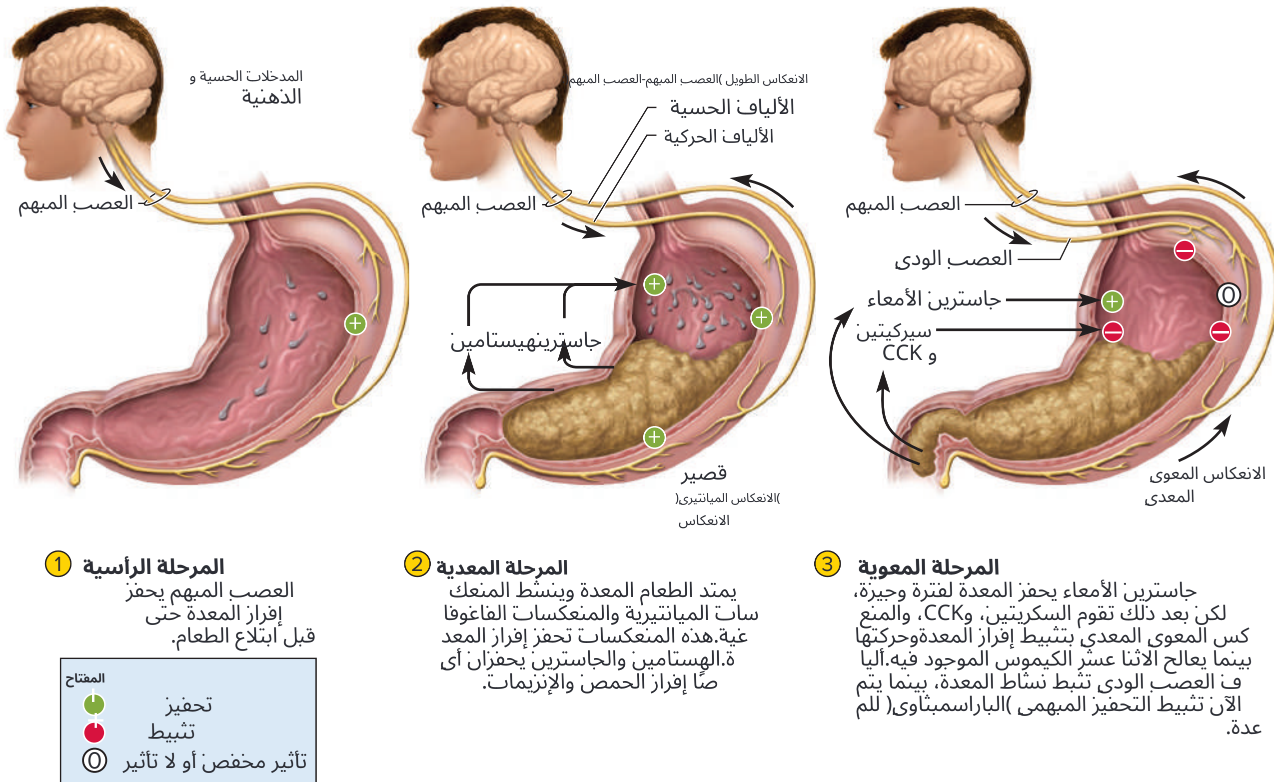


)أ(طبيعى



)ب(قرحة هضمية

الشكل 25.16 صور منظارية للوصلة المعدية المريئية. يمكن رؤية المرى ء وهو يفتح إلى المعدة القلبية.)أ(منظر لفتحة المعدة القلبية من الأعلى، يظهر مخاطية مريئية صحية. البقع البيضاء الصغيرة هى انعكاسات ضوء من المنظار.)ب(قرحة هضمية نازفة. عادة ما تكون القرحة الهضمية ذات شكل بيضاوى ولون أصفر-أبيض. هنا، يُغطى جزء من أرضية القرحة الص فراء بالجلطات الدموية السوداء، ويظهر الدم الطازج حول حافة القرحة.



الشكل 25.17 التحكم العصبى والهرمونى فى المعدة.

المرحلة الرأسية

المرحلة الرأسية هى المرحلة التى يستجيب فيها المعدة لمجرد رؤية أو شم أو تذوق أو التفكير فى الطعام، حتى قبل دخول الطعام إليها. تتح مع هذه المدخلات الحسية والذهنية فى الوطاء، الذى ينقل الإشارات إ لى النخاع المستطيل. تقوم ألياف العصب المبهم من النخاع بتحفيز ا لصفيرة المعوية للمعدة، والتى بدورها تحفز إفراز الخلايا الجدارية)حم ض(وخلايا G)جاسترين(. يحدث حوالى 40% من إفراز حمض المعدة فى المرحلة الرأسية. هذا يُعد المعدة لاستقبال ومعالجة الطعام.

المرحلة المعدية

المرحلة المعدية هى فترة يتم فيها تنشيط إفراز المعدة وحركتها بواس طة الطعام المبتلع والبروتين نصف المهضوم)الببتيدات والأحماض ا لأمينية(. يحدث حوالى نصف إفراز الحمض وثلثا إجمالى إفراز المعدة خلال هذه المرحلة. يحفز الطعام المبتلع نشاط المعدة بطريقتين: عن طريق تمدد المعدة ورفع الرقم الهيدروجينى لمحتوياتها. يؤدى التمدد إ لى تنشيط انعكاسين: انعكاس قصير يتم بوساطة الصفيرة العضلية، وانعكاس طويل يتم بوساطة الأعصاب المبهمة وجذع الدماغ.

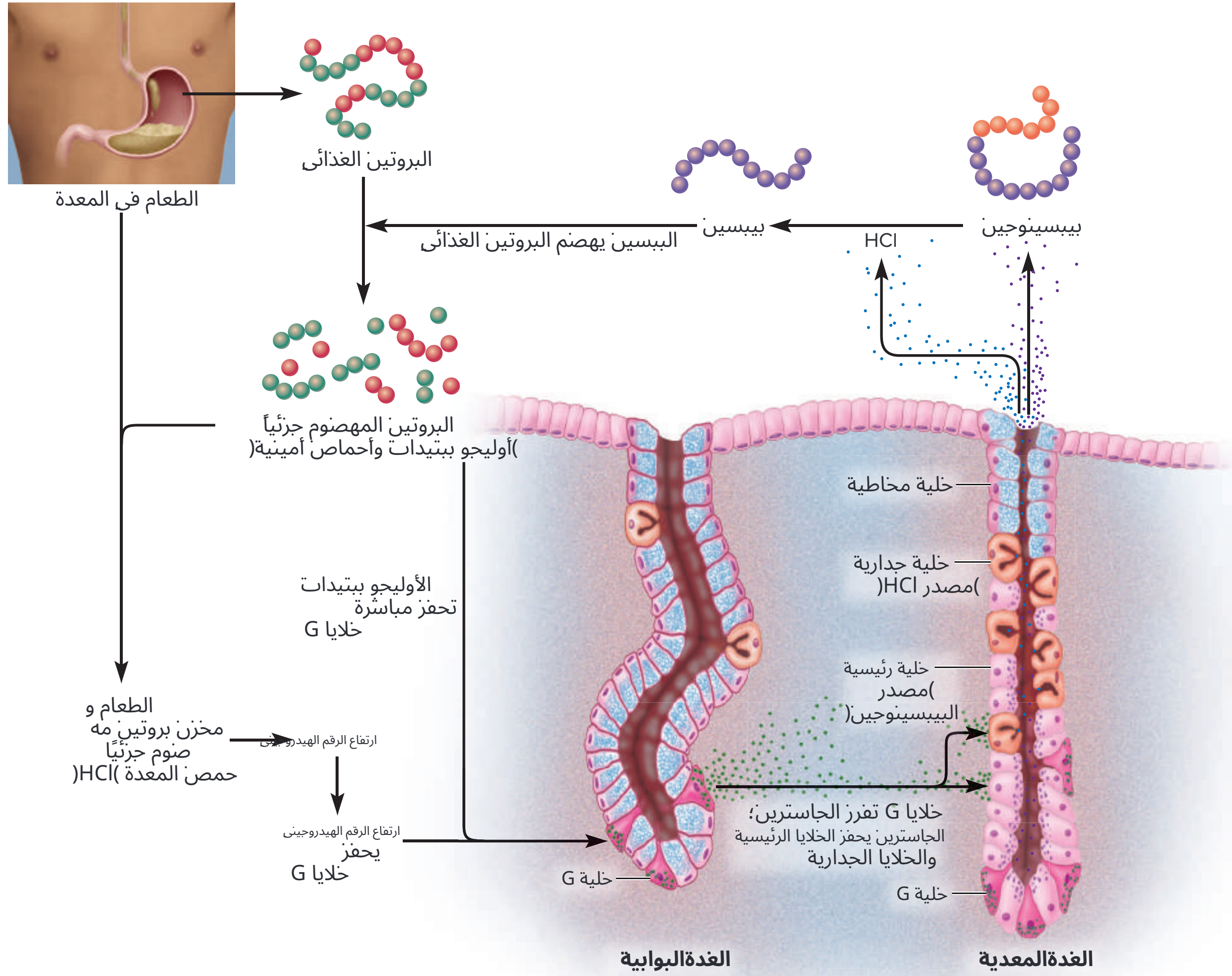
يتم تحفيز إفراز المعدة بشكل رئيسى بواسطة ثلاثة مواد كيميائية: أسيتيل كولين)ACh(، الهيستامين، والجاسترين. يفرز الأسيتيل كولين بواسطة ألياف الأعصاب اللاودية لكل من مسارات الانعكاس القصيرة والطويلة.

الهيستامين هو إفراز باراكرينى من الخلايا الصماء المعوية فى غدد الم عدة. الجاسترين هو هرمون يُنتج بواسطة خلايا G الصماء المعوية فى غدد البواب. تحفز هذه الإشارات الثلاث جميعها الخلايا الجدارية لإفرا ز حمض الهيدروكلوريك والعامل الداخلى. تفرز الخلايا الرئيسية البيب سينوجين استجابة للجاسترين وخاصة الأسيتيل كولين، كما يحفز الأ سيتيل كولين أيضًا إفراز المخاط.

عندما يتم هضم البروتين الغذائى، يتحلل إلى ببتيدات وأحماض أ مينية أصغر، والتى تحفز مباشرة خلايا G لإفراز المزيد من الجاسترين — حلقة تغذية راجعة إيجابية تسرع هضم البروتين)الشكل 25.18(. كما تعمل الببتيدات الصغيرة على معادلة حمض المعدة حتى لا ينخ فض الرقم الهيدروجينى بشكل مفرط. ولكن مع استمرار الهضم وإفراغ هذه الببتيدات من المعدة، ينخفض الرقم الهيدروجينى أكثر فأكثر. تح ت الرقم الهيدروجينى 2، يثبط حمض المعدة الخلايا الجدارية وخلايا G — حلقة تغذية راجعة سلبية تُنهى المرحلة المعدية مع انخفاض الحاج ة إلى البيبسين وحمض الهيدروكلوريك.

المرحلة المعوية

تبدأ المرحلة المعوية عندما يبدأ الكيموس بالوصول إلى الاثنى عشر. تُمكّن الانعكاسات الهرمونية والعصبية التى تنشأ هنا الاثنى عشر من ا لتحكم فى معدل إفراغ المعدة بحيث يكون لدى الاثنى عشر الوقت لم عالجة الكيموس ولا يُغمر بتحميل مفاجئ زائد.



الشكل 25.18 التحكم الراجع فى إفراز المعدة. لاحظ الحلقة الإيجابية للتغذية الراجعة: يقوم البيبسين بهضم البروتين الغذائى؛ البروتين المهضوم جزئياً وا لطعام المبتلع يرفعان الرقم الهيدروجينى فى المعدة؛ الرقم الهيدروجينى المرتفع يحفز خلايا G على إفراز الجاسترين؛ الجاسترين يحفز الغدد المعدية على إفراز الم زيد من البيبسينوجين وحمض الهيدروكلوريك)HCl(؛ يزداد إنتاج البيبسين؛ ويتسارع هضم الطعام. بالإضافة إلى آلية التغذية الراجعة الموضحة هنا، فإن الأس تيل كولين من ألياف الجهاز العصبى اللاودى للعصب المبهم والهيستامين من خلايا G فى الغدد المعدية يحفزان بقوة إفراز البيبسينوجين وHCl.

الأمعاء الصماء فى الاثنى عشر لإفراز السكرتين والكوليسيستوكينين) (CCK)كو-لى-سيس-تو-كى-نين(. تحفز هذه الهرمونات بشكل رئيسى البنكرياس والمرارة، لكنها أيضاً تثبط إفراز المعدة وحركتها. والنتيجة هى انخفاض إفراز الجاسترين \وانقباض الصمام البوابى بإحكام للحد من دخول المزيد من الكيموس إلى الاثنى عشر. وهذا يمنح الاثنى عشر الوقت للعمل على الكيموس الذى استقبله بالفعل قبل أن يُحمّل بالمزيد.

تفرز خلايا الأمعاء الصماء أيضاً الببتيد المعتمد على الجلوكوز المحفز لإفراز الأنسولين)GIP(، الذى يحفز إفراز الأنسولين استعداداً لمعالجة المغذيات التى على وشك أن يمتصها الأمعاء الدقيقة.

فى البداية، يعزز الاثنى عشر إفرازات المعدة. تمدد الاثنى عشر يبرز الانعكاسات العصبونية الفاغوفاغية التى تحفز المعدة، والببتيدات والأحماض الأمينية فى الكيموس تحفز خلايا G فى الاثنى عشر لإفرازالجاسترين المعوىالذى يزيد من تحفيز المعدة.

ومع ذلك، سرعان ما يحفز الحمص والدهون المهضومة جزئياً فى الاثنى عشر الانعكاس المعوى المعدى— حيث يرسل الاثنى عشر إشارات مثبطة إلى المعدة عبر الضفيرة المعوية، ويرسل إشارات إلى النخاع المستطيل التى)1(تثبط نوى العصب المبهم، مما يقلل من تحفيز العصب المبهم للمعدة؛ و)2(تحفز الخلايا العصبية الودية، التى ترسل إشارات مثبطة إلى المعدة. كما يحفز الكيموس خلايا

الكبد من الحجاب الحاجز وجدار البطن الأمامى.
الرباط المستدير)ligamentum teres(، الذى يظهر أيضًا من الأمام، هو بقايا ليفية للوريد السرى، الذى يحمل الدم من الحبل السرى إلى كبد الجنين.
من المنظر السفلى، نرى أيضًا فصًا مربع الشكل الفص المربع بجانب المرارة وفصًا ذنبيًا)caudate lobe(يشبه الذيل خلف ذلك. هناك فتحة غير منتظمة بين هذين الفصين، تسمى بوابة الكبد)porta hepatis(، وهى نقطة دخول للوريد البابى الكبدى والشريان الكبدى الصحيح ونقطة خروج لقنوات الصفراء، وكلها تمر عبر الرباط الأصغر. تلتصق المرارة بانخفاض على السطح السفلى للكبد بين الفص الأيمن والفص المربع. الجانب الخلفى للكبد يحتوى على أخدود عميق يستوعب الوريد الأجوف السفلى. الجانب الخلفى يحتوى أيضًا على منطقة عارية حيث يرتبط بالحجاب الحاجز. بقية الكبد مغطاة بغشاء سيروزى.

التشريح المجهرى

داخل الكبد ملىء بأسطوانات لا حصر لها تسمى الفصيصات الكبدية)hepatic lobules(، طولها حوالى 2 مم وقطرها 1 مم. يتكون الفصيص من وريد مركزى)central vein(يمر عبر مركزه، محاطًا بألواح متشعبة من الخلايا المكعبة تسمى الخلايا الكبدية)hepatocytes( )الشكل 25.20(. تخيل فتح كتاب على مصراعيه حتى تلتقى أغلفته الأمامية والخلفية. ستتفتح صفحات الكتاب حول العمود الفقرى بطريقة مشابهة لكيفية تفتح ألواح الخلايا الكبدية من الوريد المركزى لفصيص الكبد.

كل صف من خلايا الكبد هو طهارة بسمك خلية أو خليتين. الفراغات بين الصفوف هى قنوات مملوءة بالدم تُسمى الجيوب الكبدية. هذه القنوات مبطنة بطبقة بطانية مثقبة تفصل خلايا الكبد عن خلايا الدم، لكنها تسمح لبلازما الدم بالدخول إلى الفراغ بين خلايا الكبد والبطانة. تحتوى خلايا الكبد على حافة فرشاة من الأهداب الدقيقة التى تمتد إلى هذا الفراغ. الدم الذى يمر عبر الجيوب يأتى مباشرة من المعدة والأمعاء. بعد الوجبة، تمتص خلايا الكبد الجلوكوز والأحماض الأمينية والحديد والفيتامينات وغيرها من المغذيات لاستخدامها فى الأيض أو التخزين. كما تقوم بإزالة وتحليل الهرمونات والسموم وصبغات الصفراء والأدوية.

فى الوقت نفسه، تفرز الألبومين، والليبوproteins، وعوامل التخثر، والأنجيوتنسينوجين، ومنتجات أخرى إلى الدم. بين الوجبات، تقوم بتفكيك الجليكوجين المخزن وإطلاق الجلوكوز إلى الدورة الدموية. تحتوى الجيوب الدموية أيضًا على خلايا بلعمية تسمى البلاعم النجمية التى تزيل البكتيريا والحطام الجسيمى من الدم.

يفرز الكبد الصفراء فى قنوات ضيقة، وهى القنوات الصفراوية بين طبقات الخلايا الكبدية المتقابلة داخل كل صفيحة. تنتقل الصفراء من هناك إلى القنوات الصفراوية الصغيرة بين الفصيصات، وتتجمع هذه فى النهاية لتشكل القنوات الكبدية اليمنى و اليسرى. تتقارب هذه القنوات على الجانب السفلى من الكبد لتشكل القناة الكبدية المشتركة. على مسافة قصيرة بعدها، تنضم إليها القناة المرارية القادمة من المرارة)الشكل 25.21(. يشكل اتحادها القناة الصفراوية التى تنزل عبر الرباط الأصغر نحو الاثنى عشر.

---

[15] caud = ذيل

[16] porta = بوابة، مدخل؛ hepatis = الكبد

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

10. اذكر أربعة أنواع من الخلايا الطهارية فى الغدد المعدية والبوابية وبيّن ما يفرزه كل منها.
11. اشرح كيف تنتج الغدد المعدية حمض الهيدروكلوريك ولماذا يؤدى ذلك إلى ظاهرة المد القلوى.
12. ما دورة التغذية الراجعة الإيجابية التى يمكنك تحديدها فى تكوين وعمل البيبسين؟
13. كيف يثبط الطعام فى الاثنى عشر الحركة والإفراز فى المعدة؟

25.4 الكبد، المرارة، والبنكرياس

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف التشريح الكلى والمجهرى للكبد، المرارة، نظام قنوات الصفراء، والبنكرياس؛
ب. وصف الإفرازات الهضمية ووظائف الكبد، المرارة، والبنكرياس؛ و
ج. شرح كيف تنظم الهرمونات الإفراز من قبل الكبد والبنكرياس.

يستقبل الأمعاء الدقيقة ليس فقط الكيموس من المعدة ولكن أيضًا الإفرازات من الكبد والبنكرياس، التى تدخل الجهاز الهضمى بالقرب من تقاطع المعدة والأمعاء الدقيقة.
هذه الإفرازات مهمة جدًا لعمليات الهضم فى الأمعاء الدقيقة لدرجة أنه من الضرورى فهمها قبل الانتقال إلى فسيولوجيا الأمعاء.

APR 25.4أ الكبد

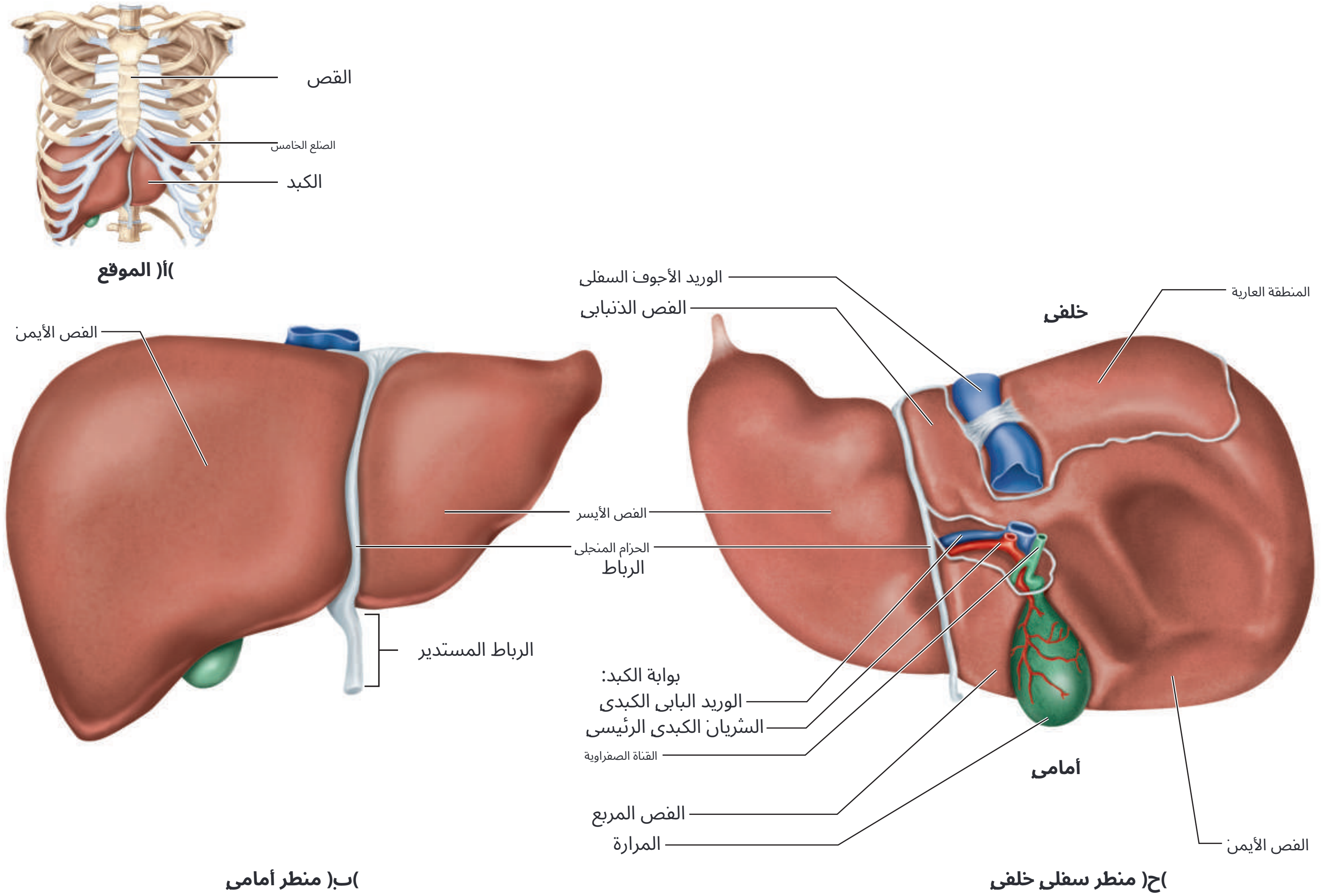
الكبد)الشكل 25.19(هو غدة بنية مائلة إلى الحمرة تقع مباشرة تحت الحجاب الحاجز، معظمها داخل القفص الصدرى، وتملأ معظم منطقة تحت الضلوع اليمنى والمنطقة فوق المعدة. إنه أكبر غدة فى الجسم، ويزن حوالى 1.4 كجم)3 أرطال(. له وظائف عديدة للغاية، لكن واحدة فقط منها، وهى إفراز الصفراء، تساهم فى الهضم. تُناقش الوظائف الأخرى فى الفصل التالى)انظر الجدول 26.6(، الذى يوفر أساسًا فسيولوجيًا أكثر شمولاً لفهم وظائف الكبد غير الهضمية.

التشريح الكلى

للكبد أربعة فصوص تسمى الفص الأيمن، والفص الأيسر، والفص المربع، والفص الذنبى. من المنظر الأمامى، نرى فقط فصًا كبيرًا أيمن وفصًا أصغر أيسر. يفصل بينهما الرباط المنجلى)falciform ligament(وهو ورقة من المساريقا تعلق

---

[14] falci = منجل؛ form = شكل



الشكل 25.19 التشريح الكلى للكبد.)أ(الموقع بالنسبة لقفص الصدر.)ب(منظر أمامى، يظهر الفصوص اليمنى واليسرى.)ح(المنظر الخلفى السفلى، يظهر جميع الفصوص الأربعة. APR

يستقبل الوريد البابى الكبدى الدم من المعدة والأمعاء والبنكرياس والطحال، ويحمله إلى الكبد عند بوابة الكبد)البورتا هيباتيس(؛ انظر *النظام البابى الكبدى* فى القسم 20.7ح. تصل جميع المغذيات التى تم امتصاصها من الأمعاء الدقيقة إلى الكبد عبر هذا الطريق باستثناء الدهون)التى تُنقل عبر الأوعية اللمفاوية(. يخرج الدم الشريانى المتجه إلى الكبد من الأبهر عند الجذع البطنى ويتبع المسار الموضح فى الشكل 20.34 الجذع البطنى ←الشريان الكبدى المشترك ←الشريان الكبدى: الشرايين الكبدية اليمنى واليسرى، التى تدخل الكبد عند←الصحيح بوابة الكبد. تقوم هذه الشرايين بتوصيل الأكسجين ومواد أخرى إلى الكبد.

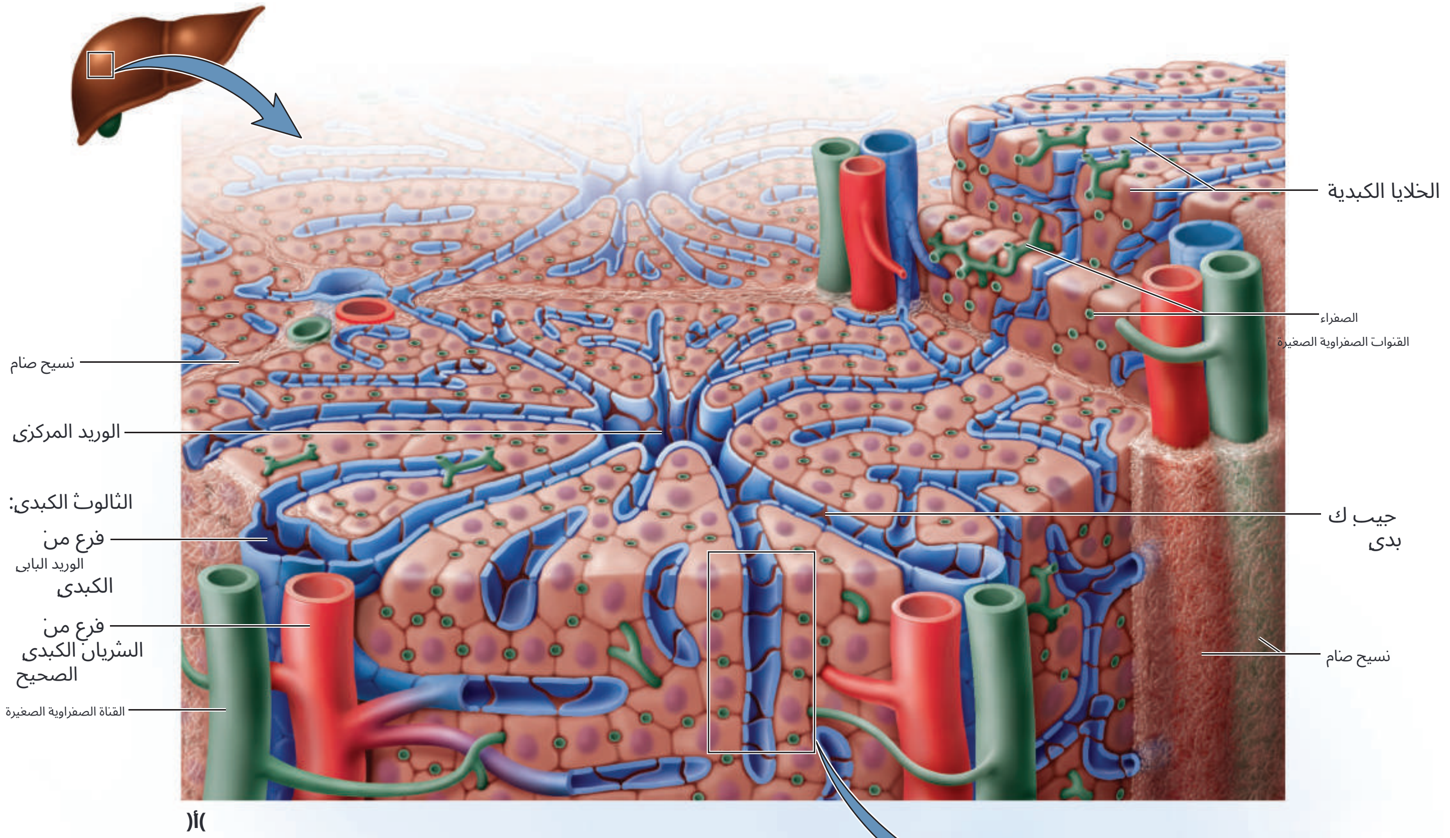
داخل الكبد، تلتقى الفروع الدقيقة للوريد البابى الكبدى والشرايين الكبدية ببعضها فى الفراغات بين فصيصات الكبد، وكلاهما يصب فى الجيوب الكبدية. ومن ثم، يحدث خلط غير معتاد بين الدم الوريدى والشريانى فى الجيوب. بعد المعالجة بواسطة الخلايا الكبدية، يتجمع الدم فى الوريد المركزى فى مركز الفصيصة. فى النهاية، تتجمع الدماء من الأوردة المركزية فى عدة أوردة كبدية تخرج من السطح العلوى للكبد وتفرغ فى الوريد الأجوف السفلى القريب.

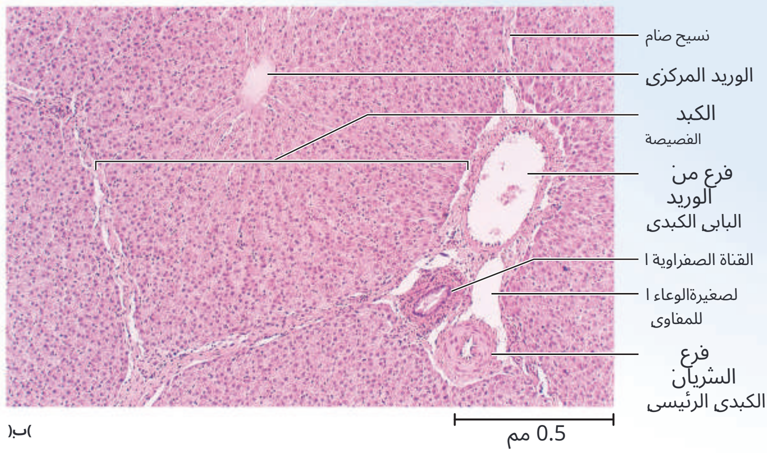
بالقرب من الاثنى عشر، تنضم القناة الصفراوية إلى قناة البنكرياس وتشكل حجرة متسعة تسمى الأمبولة الكبدية البنكرياسية. تنتهى الأمبولة عند طية نسيجية، وهى الحليمة الاثنى عشرية الكبرى، على جدار الاثنى عشر. تحتوى هذه الحليمة على صمام عضلى العضلة العاصرة الكبدية البنكرياسية، الذى ينظم مرور الصفراء وعصارة البنكرياس إلى الاثنى عشر. بين الوجبات، يكون هذا الصمام مغلقًا ويمنع إفراز الصفراء إلى الأمعاء.

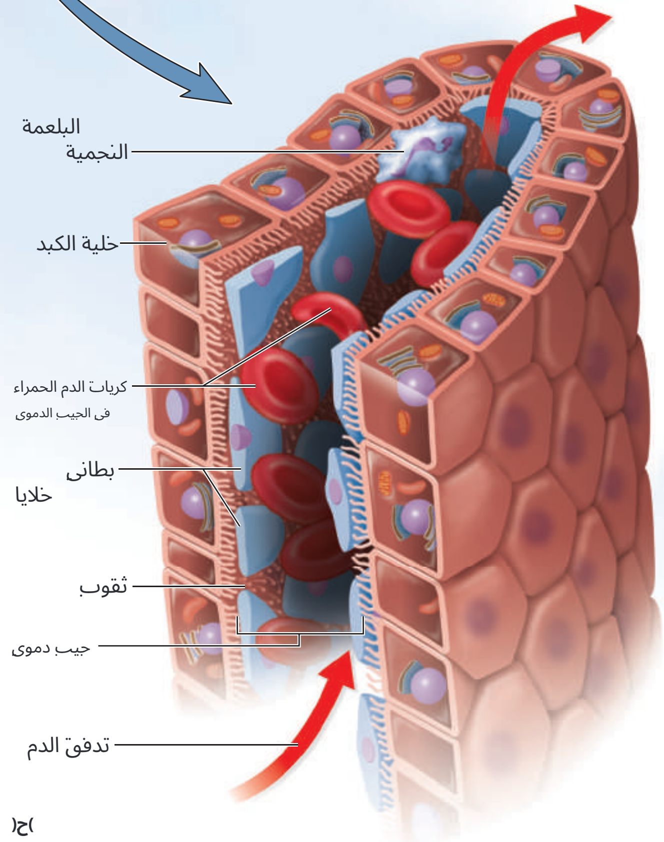
تُفصل الفصيصات الكبدية بواسطة نسيج ضام متناثر. فى المقاطع العرضية، يكون النسيج الضام واضحًا بشكل خاص فى المناطق التى تلتقى فيها ثلاثة فصيصات أو أكثر. هنا غالبًا ما يوجد الثالوث الكبدى الذى يتكون من قناة صفراوية صغيرة ووعائين دمويين—فروع من الشريان الكبدى الصحيح والوريد البابى الكبدى.

الدورة الدموية

يستقبل الكبد الدم من مصدرين: حوالى 70% من الوريد البابى الكبدى و30% من الشرايين الكبدية.



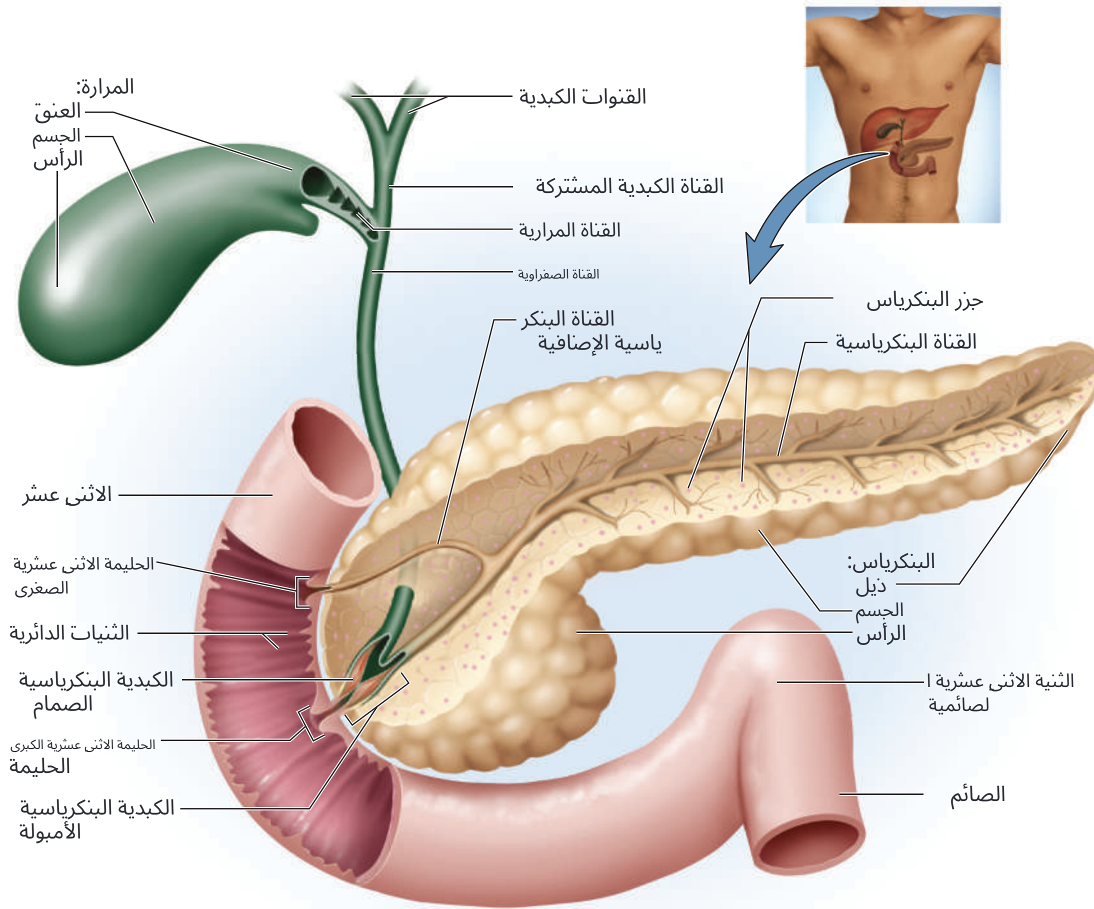




الشكل 25.20 التشريح المجهرى للكبد.)أ(الفصيصات الكبدية وعلاقتها بالأوعية الدموية وفرع القنوات الصفراوية.
)ب(مقطع نسيجى للكبد.)ح(الجيب الكبدى.

APR حدد وعاءين دمويين فى المقطعين 20.7ف و20.7ز يزودان الجيوب الكبدية بالدم.

ب: دينيس ستريت / ماكجرو هيل



الشكل 25.21 التشريح الكلى للمرارة، البنكرياس، وممرات الصفراء. تم حذف الكبد لإظهار المرارة بشكل أوضح، والتى تلتصق بسطحها السفلى، والقن
APR وات الكبدية التى تخرج من نسيج الكبد.

25.4ب المرارة والصفراء

المرارة هى كيس على شكل كمثرى على الجانب السفلى من الكبد تع مل على تخزين وتركيز الصفراء. يبلغ طولها حوالى 10 سم وتبطن من ا لداخل بطبقة مخاطية مطوية بشكل كبير مع طهارة عمودية بسيطة. رأ سها)القاع(يكون عادة مرئيًا قليلاً خارج الحافة السفلية للكبد. عنقها)الرقبة(يؤدى إلى القناة المرارية، التى تؤدى بدورها إلى القناة الصفرا وية.

المرارة لا تفرز أى شىء من تلقاء نفسها باستثناء كمية قليلة من ا لمخاط. فهى تستقبل فقط الصفراء التى ينتجها الكبد، وتخزنها، وترك يزها. الصفراء لونها أصفر أخضر فاتح عند إفرازها من الكبد، لكنها تص بح خضراء داكنة ومكثفة عند تركيزها فى المرارة. هى محلول مائى من المعادن والكوليسترول والدهون المحايدة والفوسفوليبيدات وصبغا ت الصفراء وأحماض الصفراء وحويصلات نقل الدهون المسماة *المى سيلات*)سيتم شرحها لاحقًا(. الصبغة الرئيسية فى الصفراء هى البى ليروبين، المشتقة من تحلل الهيموغلوبين من كريات الدم الحمراء ال قديمة التى ماتت.

تقوم بكتيريا الأمعاء باستقلاب البيليروبين إلى منتج عديم اللون يسمى اليوروبيلينوجين. حوالى نصف هذا يُعاد امتصاصه فى الأمعاء الدقيقة

الأمعاء وتُطرح عن طريق الكلى. تقوم بتحويلها إلى اليوروبيلين، الذى يمنح البول لونه الأصفر. اليوروبيلينوجين المتبقى فى الأمعاء يتحول إلى الستركوبيلين، الذى يمنح البراز لونه البنى. فى حالة غياب إفراز الصفراء، يكون البراز رماديًا أبيض مع خطوط من الدهون غير المهضومة *)البراز اللاصفراوى(*.

أحماض الصفراء)أملاح الصفراء(هى ستيرويدات تُصنع من الكوليسترول. أحماض الصفراء، الميسيلات، و الليسيثين، وهو فوسفوليبيد، تساعد فى هضم وامتصاص الدهون، كما سيناقش لاحقًا. جميع المكونات ا لأخرى للصفراء هى نفايات مخصصة للإفراز فى البول والبراز. عندما تصبح هذه النفايات مركزة بشكل مفرط، يمكن أن تُكوّن حصى المرارة)انظر التعمق 25.3(.

تدخل الصفراء إلى المرارة أولاً بملء القناة الصفراوية، ثم تفيض إ لى المرارة. بين الوجبات، تمتص المرارة الماء والإلكتروليتات من ال صفراء وتركزها بمقدار 5 إلى 20 مرة. يفرز الكبد حوالى 500 إلى 1000 مل من الصفراء يوميًا.

يُعاد امتصاص حوالى 80% من أحماض الصفراء فى اللفائفى، ا لجزء الأخير من الأمعاء الدقيقة، وتُعاد إلى الكبد حيث تمتصها الخلايا الكبدية وتفرزها مجددًا. هذا المسار للإفراز،



نظرة أعمق 25.3

تطبيق سريرى

حصى المرارة

حصى المرارة)الحصيات الصفراوية( )الشكل 25.22(هى كتل صلبة فى المرارة أو قنوات الصفراء، تتكون عادة من الكوليسترول، كربونات الكالسيوم، والبيليروبين. تم اكتشاف الكوليسترول من خلال تحليل حصى المرارة فى عام 1784.
تكوّن حصى المرارة)Cholelithiasis(هو الأكثر شيوعًا لدى النساء البدينات فوق سن الأربعين، لكنه ليس مقتصرًا عليهن؛ إذ يحدث أيضًا لدى الرجال وأحيانًا حتى ا لأطفال. يمكن أن يحدث عندما يصبح الكوليسترول مركزًا جدًا بحيث لا يبقى فى ا لمحلول ويبدأ فى الترسيب على شكل بلورات تنمو تدريجيًا فى الحجم. قد تحتوى المرارة على عشرات الحصى أو أكثر، بعضها يزيد قطره عن 1 سم. يمكن أن تسبب حصى المرارة ألمًا شديدًا عندما تسد قنوات الصفراء أو عندما تنقبض المرارة أو قنوات الصفراء. وعندما تعيق تدفق الصفراء إلى الاثنى عشر، تسبب اليرقان)اص فرار الجلد بسبب تراكم صبغة الصفراء(، سوء هضم الدهون، التهاب البنكرياس)ا لتهاب البنكرياس(، وضعف امتصاص الفيتامينات الذائبة فى الدهون. عادةً ما تُزا ل حصى المرارة الآن بواسطة جراحة تنظيرية طفيفة التوغل. لا يمكن للمرارة فقط تركيز الصفراء بما يكفى لتكوين حصى المرارة، لذلك غالبًا ما تُزال مع الحصى لمنع تكرارها.



الشكل 25.22 حصى المرارة.

Biophoto Associates/Science Source

تُظهر خلايا الحُويصلات الإفرازية كثافة عالية من الشبكة الإندوبلاز مية الخشنة وحويصلات الإفراز)حبيبات الزيموجين( )الشكل 25.23(. تفتح الحُويصلات فى نظام من القنوات المتفرعة التى تلتقى فى النها ية بالقناة البنكرياسية الرئيسية. تمتد هذه القناة طولياً عبر منتصف ا لغدة وتلتحم بقناة الصفراء عند أمبولة الكبد والبنكرياس. وبالتالى، يتح كم المصرة الكبدية البنكرياسية فى إطلاق كل من الصفراء والعصارة ا لبنكرياسية إلى الاثنى عشر. ومع ذلك، لدى معظم الناس قناة بنكريا سية إضافية أصغر تتفرع من القناة البنكرياسية الرئيسية وتفتح بشكل مستقل فى الاثنى عشر عند الحليمة الاثنى عشرية الصغرى، القريبة م ن الحليمة الكبرى. تتجاوز القناة الإضافية المصرة وتسمح بإفراز الع صارة البنكرياسية إلى الاثنى عشر حتى عندما يتم حجز الصفراء.

العصارة البنكرياسية هى مزيج قلوى من الماء والإنزيمات والزيمو جينات وبيكربونات الصوديوم والإلكتروليتات الأخرى. تفرز الحُويصلا ت الإنزيمات والزيموجينات، فى حين تفرز القنوات بيكربونات الصود يوم. تعمل البيكربونات على معادلة حمض الهيدروكلوريك القادم من ا لمعدة.
الزيموجينات البنكرياسية هى التربسينوجين)trypsinogen(، ال كيموتربسينوجين)chymotrypsinogen(، والبروكاربوكسيببتيداز)p rocarboxypeptidase(. عندما يُفرز التربسينوجين إلى تجويف الأمعاء، يتحول إلى التربسين بواسطة إنزيم يسمى الإنتيروبى بتيداز على الحدود الفرشية للاثنى عشر)الشكل 25.24(. التربسين هو إنزيم يحفز نفسه - حيث يحول التربسينوجين إلى المزيد من التربسي ن. كما يحول الزيموجينين الآخرين إلى الكيموتربسين والكاربوكسيبب تيداز، بالإضافة إلى دوره الأساسى فى هضم البروتين الغذائى.

تشمل الإنزيمات البنكرياسية الأخرى الأميلاز البنكرياسى، الذى يه ضم النشا؛ الليباز البنكرياسى، الذى يهضم الدهون؛ والريبونوكلياز والد يأوكسى ريبونوكلياز، اللذان يهضمان RNA وDNA على التوالى. على ع كس الزيموجينات، لا تتغير هذه الإنزيمات بعد الإفراز. لكنها تصبح ن شطة بالكامل فقط عند تعرضها للصفراء أو الأيونات فى تجويف الأمع اء.

إعادة الامتصاص، وإعادة الإفراز، المسماة الدورة المعوية الكبدية، تع يد استخدام أحماض الصفراء مرتين أو أكثر خلال هضم وجبة متوسطة . 20% من الصفراء التى لا تُعاد امتصاصها تُطرح فى البراز. هذه هى ا لطريقة الوحيدة للجسم للتخلص من الكوليسترول الزائد. يقوم الكبد بتخليق أحماض صفراء جديدة من الكوليسترول لتعويض الكمية الم فقودة فى البراز.

▶▶▶ طبق ما تعرفه

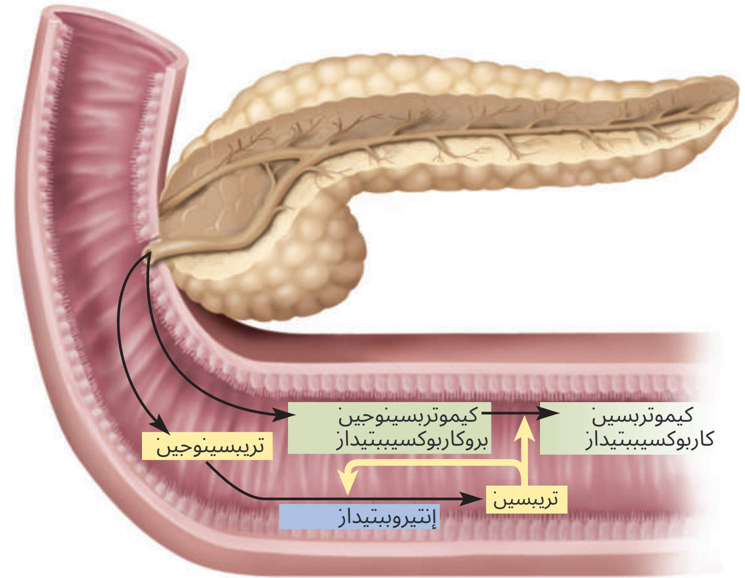
بعض الأدوية المصممة لخفض الكوليسترول فى الدم تعمل عن طريق حجب إعادة امتصاص أحماض الصفراء فى اللفائفى. اشرح لماذا سيكون لها هذا التأثير فى خفض الكوليسترول.

25.4c البنكرياس

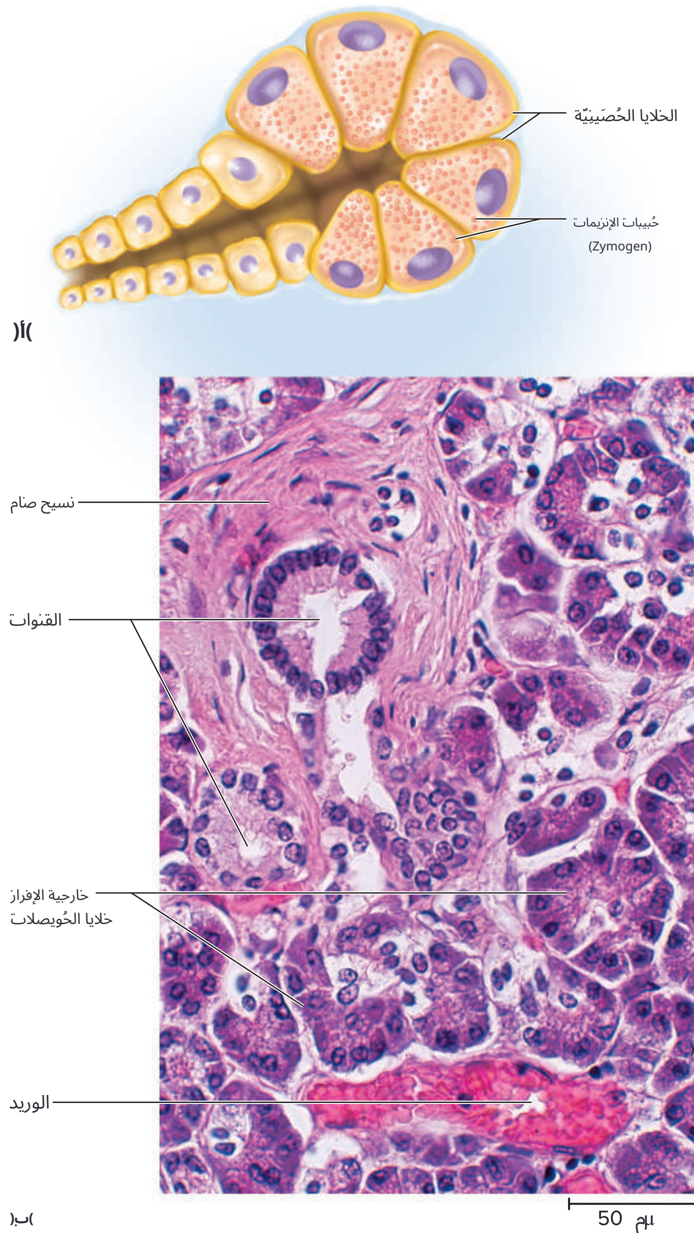
البنكرياس)الشكل 25.21(هو غدة مسطحة إسفنجية تقع خلف الص فاق، مضغوطة بين جدار الجسم والانحناء الأكبر للمعدة. يبلغ طوله من 12 إلى 15 سم وسمكه حوالى 2.5 سم. له رأس كروى محاط بالاثنى عشر، وجزء متوسط يسمى الجسم، وذيل مدبب على اليسار. البنكر ياس هو غدة صماء وخارجة الإفراز فى آن واحد. الجزء الصماء منه هو جزر البنكرياس التى تفرز الإنسولين والجلوكاجون)انظر الفصل 17(. ح والى 99% من البنكرياس هو نسيج خارجى الإفراز، يفرز من 1200 إلى 1500 مل من عصارة البنكرياس يوميًا. تتركز جزر البنكرياس نسبيًا فى ذيل البنكرياس، بينما الرأس يحتوى على نسيج خارجى الإفراز أك ثر. أكثر من 90% من سرطانات البنكرياس تنشأ من قنوات الجزء الخا رجى الإفراز.

)سرطانات القنوات(، لذلك يكون السرطان أكثر شيوعًا فى رأس الغدة.

[17] *chole* = الصفراء، المرارة؛ *lith* = الحجر؛ *iasis* = حالة طبية



الشكل 25.24 تنشيط إنزيمات البنكرياس فى الأمعاء الدقيقة. يفرز ا
لبنكرياس التربسينوجين، ويقوم الإنتيروببتيداز على حدود الفرشاة فى ا
لاثنى عشر بتحويله إلى التربسين. لا يقوم التربسين بهضم البروتين الغ
ذائى فقط، بل يحفز أيضًا إنتاج المزيد من التربسين وينشط اثنين من الإنز
يمات البنكرياسية الأخرى — الكيموتربسينوجين والبروكاربوكسيببتيداز.



الشكل 25.23 التشريح المجهرى للبنكرياس.)أ(الحويصلة.)ب(مقطع نس
يجى للنسيج الخارج إفرازى وبعض من النسيج الضام الدعمى.

ب: دينيس ستريت/ماكجرو هيل

الإفرازات الخارجية للبنكرياس	الجدول 25.2
الوظيفة	**الإفراز**
يعادل حمض الهيدروكلوريك)HCl(	**بيكربونات الصوديوم**
تتحول إلى إنزيمات هضمية نشطة بعد الإفرا ز	**الإنزيمات غير النشطة)زيموجينات(**
تتحول إلى تريبسين، الذى يهضم البروتين	تريبسينوجين
تتحول إلى كيموتريبسين، الذى يهضم البرو تين	كيموتربسينوجين
تتحول إلى كربوكسى ببتيداز، الذى يحلل الحمض الأمينى النهائى من الطرف الكر بوكسيلى)— COOH(للببتيدات الصغيرة	بروكاربوكسيببتيداز
	إنزيمات
يهضم النشا	الأميليز البنكرياسى
يهضم الدهون	ليباز البنكرياس
يهضم الحمض النووى الريبوزى)RNA(	ريبونوكلياز
يهضم الحمض النووى)DNA(	ديوكسيريبونوكلياز

تفرز إنزيماتها حتى خلال المرحلة القحفية من التحكم المعد
ى، قبل ابتلاع الطعام. ومع ذلك، تبقى الإنزيمات مخزنة ف
ى الحُصَينات والقنوات البنكرياسية، استعدادًا لإطلاقها لاحقًا
عند دخول الكيموس إلى الاثنى عشر.

تُلخص الإفرازات الخارجية للبنكرياس فى
الجدول 25.2. وتُشرح وظائفها الهضمية المحددة لاحقًا
بمزيد من التفصيل.

25.4د تنظيم الإفراز

ثلاثة محفزات هى المسؤولة بشكل رئيسى عن إفراز عصارة البنكريا
س والصفراء.

1. أسيتيل كولين)ACh(يأتى من الأعصاب المبهمة والخلايا الع
صبية المعوية. يحفز ACh الخلايا الحُصَينِيّة للبنكرياس على

ب. حدد كيف تختلف مخاطية الأمعاء الدقيقة عن مخاطية المعدة، وشرح الأهمية الوظيفية لهذه الاختلافات؛

ج. عرف الهضم التماسى ووصف مكان حدوثه؛ و

د. وصف أنواع الحركة التى تحدث فى الأمعاء الدقيقة.

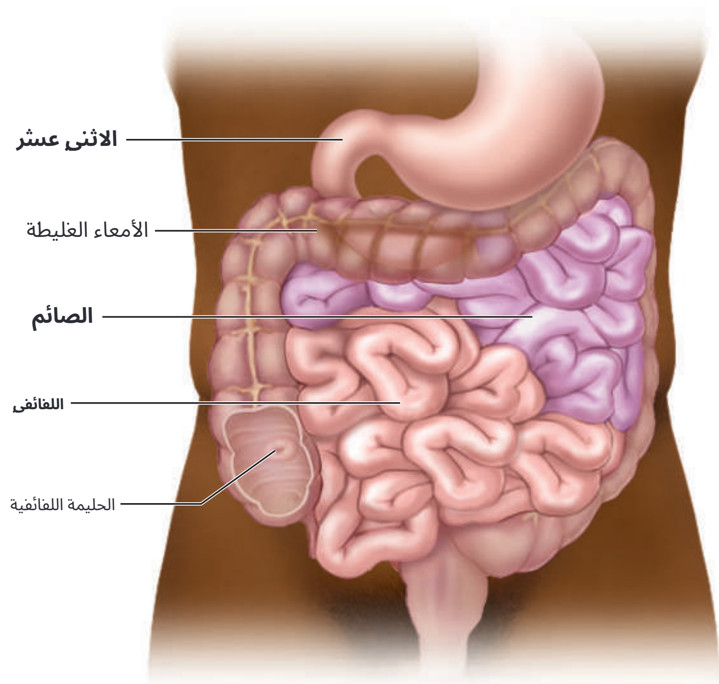
تقريبًا كل الهضم الكيميائى وامتصاص المغذيات يحدثان فى الأمعاء ا لدقيقة. لأداء هذه الوظائف بكفاءة وشمولية، فإن الأمعاء الدقيقة هى أطول جزء من الجهاز الهضمى—حوالى ٥ أمتار طولًا)يتراوح بين ٣-٧ أمتار(فى الشخص الحى؛ فى الجثة، حيث لا يوجد توتر عضلى، يصل طولها إلى ٨ أمتار. مصطلح *الأمعاء الدقيقة* لا يشير إلى طولها بل إلى قطرها—حوالى ٢.٥ سم)١ بوصة(.

٥.٥٢أ التشريح الكلى

الأمعاء الدقيقة هى أنبوب ملفوف يملأ معظم تجويف البطن أسفل ا لمعدة والكبد. وهى مقسمة إلى ثلاث مناطق)الشكل ٥٢.٥٢(: الاثنا عشر، الصائم، واللفائفى.

الاثنا عشر)دو-أود-إه-نوم، دو-أوه-دى-نوم(يشكل أول ٥٢ سم)١٠ بوصات(. اسمه يشير إلى طوله، الذى يعادل تقريبًا عرض ٢١ إصبعًا. ٩١ يبدأ عند صمام البواب، وينحنى حول رأس البنكرياس ويمر إلى ال يسار، وينتهى عند انحناءة حادة تسمى الانثناء الاثنا عشرى الصائمى.

٩الاثنى عشر12 =



APR الشكل ٥٢.٥٢ التشريح الكلى للأمعاء الدقيقة.

2. الكوليسيستوكينين[18] (CCK) يُفرز من مخاطية الاثنى عشر والجزء القريب من الصائم)الجزء التالى من الأمعاء الدقيقة(، بشكل رئيسى استجابةً للدهون فى الأمعاء الدقيقة. كما يحفز CCK الخلايا البنكرياسية على إفراز الإنزيمات، لكنه سُمى بناءً على تأثيره القوى المحفز على المرارة. فهو يسبب انقباضات فى المرارة واسترخاء المصرة الكبدية البنكرياسية، مما يؤدى إلى إفراز الصفراء إلى الاثنى عشر مع العصارة البنكرياسية.

3. السكرتين)seh-KREE-tin(يُنتج من نفس مناطق الأمعاء الدقيقة، بشكل رئيسى استجابةً لحموضة الكيموس القادم من المعدة. يحفز السكرتين قنوات كل من الكبد والبنكرياس على إفراز محلول غنى بكربونات الصوديوم. فى البنكرياس، يقوم هذا بدفع الإنزيمات إلى الاثنى عشر. تقوم كربونات الصوديوم بمعادلة حمض الكلوريدريك القادم من المعدة، مع التفاعل



$$HCl + NaHCO_3 \longrightarrow NaCl + H_2CO_3 \text{ (carbonic acid).}$$

ثم يتحلل حمض الكربونيك إلى ثانى أكسيد الكربون والماء. يُمتص ثانى أكسيد الكربون CO2 فى الدم ويُزفر فى النهاية. ما يتبقى فى الأمعاء الدقيقة، إذًا، هو ماء مالح—NaCl و H_2O. لذلك، تُعد كربونات الصوديوم مهمة فى حماية مخاطية الأمعاء من حمض HCl بالإضافة إلى رفع الرقم الهيدروجينى للأمعاء إلى المستوى اللازم لنشاط إنزيمات الهضم البنكرياسية والمعوية.

▶▶▶ طبق ما تعرفه

ارسم حلقة تغذية راجعة سلبية توضح كيف يؤثر السكرتين على الرقم الهيدروجينى للاثنى عشر.

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

14. ما الذى يساهم به الكبد فى عملية الهضم؟

15. تتبع المسار الذى تسلكه أحماض الصفراء من الكبد و العودة. ما اسم هذا المسار؟

16. اذكر هرمونين، وأربعة إنزيمات، وعامل تعادل واحد تفرزه البنكرياس، وبيّن وظيفة كل منها.

17. ما الذى يحفز إفراز الكوليسيستوكينين)CCK(، وكيف يؤثر CCK على أجزاء أخرى من الجهاز الهضمى؟

25.5 الأمعاء الدقيقة

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف التشريح الكلى والمجهرى للأمعاء الدقيقة؛

٨١*كولى* = الصفراء؛ *سيستو* = المثانة)المرارة(؛ *كين* = الفعل

25.5ح التشريح المجهرى

طبقات الأنسجة فى الأمعاء الدقيقة مشابهة لتلك الموجودة فى المريء والمعدة مع تعديلات مناسبة لهضم المغذيات وامتصاصها. التجويف مبطن بطبقة طلائية عمودية بسيطة. الطبقة العضلية الخارجية تتميز بطبقة دائرية داخلية سميكة وطبقة طولية خارجية أرق.

الجيجونوم والإيلوم داخل الصفاق وبالتالى مغطاة من جميع الجهات بالسيروزا، التى تتصل بالمساريق المعقدة والمطوية التى تعلق الأمعاء الدقيقة من الجدار البطنى الخلفى. معظم الاثنى عشر خلف الصفاق وله سيروزا فقط على السطح الأمامى؛ أما السطح الخلفى فهو مغطى بالنسيج الضام)الأدفنتيشيا(.

يتطلب الهضم والامتصاص الفعال أن تمتلك الأمعاء الدقيقة مساحة سطح داخلية كبيرة. وهذا يتوفر من خلال طولها النسبى الكبير ومن خلال ثلاثة أنواع من الطيات أو النتوءات الداخلية: الطيات الدائرية، الزغابات، والزوائد الدقيقة)الميكروفيلى(. إذا كانت الطبقة المخاطية ناعمة، مثل داخل خرطوم، فستكون مساحة سطحها حوالى 0.3 إلى 0.5 متر مربع، ولكن مع هذه التراكيب السطحية، تبلغ مساحة سطحها الفعلية حوالى 200 متر مربع — وهو ميزة كبيرة لامتصاص المغذيات.
تزيد الطيات الدائرية مساحة السطح بمقدار 2 إلى 3 أضعاف، والزغابات بمقدار 10 أضعاف، والزوائد الدقيقة بمقدار 20 ضعفًا.

طبق ما تعرفه

الأمعاء الدقيقة تظهر بعض التكيفات الهيكلية نفسها مثل النبيب الملفوف القريب فى الكلية)القسم 23.2د(، وللأسباب نفسها. ناقش ما يشتركان فيه، والأسباب لذلك، وكيف يرتبط هذا بموضوع هذا الكتاب حول وحدة الشكل والوظيفة.

الطيات الدائرية، وهى أكبر هذه التوسعات، هى نتوءات عرضية إلى حواف لولبية يصل ارتفاعها إلى 1 سم)انظر الشكل 25.21(. تشمل هذه الطيات فقط الغشاء المخاطى وتحت المخاطى؛ فهى غير مرئية على السطح الخارجى، الذى يكون أملسًا. تبطئ تقدم الكيموس وتجعل تدفقه على مسار لولبى إلى حد ما، مما يزيد من تلامسه مع الغشاء المخاطى ويعزز الخلط والامتصاص الغذائى بشكل أكثر شمولاً. تبدأ الطيات الدائرية فى الاثنى عشر. فى الصائم، تكون كبيرة وطويلة ومتقاربة بشكل خاص. تصبح أصغر وأقل كثافة فى اللفائفى. ترتبط هذه التغيرات بالكمية النسبية لامتصاص المغذيات التى تحدث فى كل منطقة. الطيات الدائرية غائبة فى النصف البعيد من اللفائفى، لكن معظم امتصاص المغذيات يكتمل بحلول تلك النقطة.

الزغابات)VIL-eye؛ المفرد، *زغابة*(هى نتوءات تعطى البطانة الداخلية للأمعاء ملمسًا ناعمًا، مثل منشفة قماش التيرى.
ارتفاعها حوالى 0.5 إلى 1.0 مم، بأشكال تشبه اللسان أو الأصابع)الشكل 25.26(. الزغابات هى الأكبر فى الاثنى عشر وتصبح أصغر تدريجيًا فى المناطق الأبعد من الأمعاء. الزغابات مغطاة بنوعين من الخلايا الطلائية: الخلايا العمودية المعوية)خلايا امتصاص(وخلايا الكأس التى تفرز المخاط. مثل خلايا الطلائية فى المعدة، ترتبط خلايا الأمعاء الدقيقة بواسطة وصلات ضيقة تمنع تسرب الإنزيمات الهضمية بينها وتآكل الأنسجة الأساسية.

لب الزغابة مملوء بنسيج ضام من اللويحة الخاصة ويحتوى على شريان صغير، شعيرات دموية، وريد صغير، وشعيرة لمفاوية تسمى اللاكتيل)LAC-tee-ul(. تمتص الشعيرات الدموية معظم المغذيات، لكن اللاكتيل يمتص معظم الدهون.

بعد الصمام البوابى بقليل، يظهر التجاعيد الموصوفة سابقًا والتى تسمى الحليمة الاثنى عشرية الكبرى والصغرى، حيث يستقبل القناة البنكرياسية والقناة البنكرياسية الملحقة على التوالى. إلى جانب البنكرياس، معظم الاثنى عشر خلف الصفاق. يستقبل محتويات المعدة، عصارة البنكرياس، والصفراء. يتم تحييد حمض المعدة هنا، ويتم تفتيت الدهون)استحلابها(بواسطة أحماض الصفراء، ويتعطل البيبسين بسبب ارتفاع الرقم الهيدروجينى، وتتولى إنزيمات البنكرياس مهمة الهضم الكيميائى.

الصائم)jeh-JOO-num(، حسب التعريف، هو أول 40% من الأمعاء الدقيقة بعد الاثنى عشر—حوالى 1.0 إلى 1.7 متر فى الشخص الحى. اسمه يشير إلى أن علماء التشريح الأوائل وجدوه عادة فارغًا.[20] يبدأ الصائم فى الربع العلوى الأيسر من البطن لكنه يقع فى الغالب ضمن منطقة السرة)المحددة فى الأطلس A، الشكل A.4(. جدارها سميك وعضلى، ولها إمداد دموى غنى بشكل خاص، مما يمنحها لونًا أحمر نسبيًا. يحدث معظم الهضم وامتصاص المغذيات هنا.

اللفائفى[21] يشكل آخر 60% من الأمعاء الدقيقة بعد الاثنى عشر)حوالى 1.6 إلى 2.7 متر(. يشغل بشكل رئيسى المنطقة تحت السرة وجزءًا من تجويف الحوض. مقارنة بالصائم، جدارها أرق، وأقل عضلية، وأقل وعائية، ولها لون وردى باهت. على الجانب المقابل لمرفق المساريقا، يحتوى اللفائفى على عقيدات لمفاوية بارزة فى مجموعات تسمى العقيدات اللمفاوية المجمعة)بقع باير[22](التى تكون مرئية بالعين المجردة وتزداد حجمًا تدريجيًا مع الاقتراب من الأمعاء الغليظة.

نهاية الأمعاء الدقيقة هى الوصلة اللفائفية الأعورية)ILL-ee-oh-SEE-cul(، حيث ينضم اللفائفى إلى *الأعور* فى الأمعاء الغليظة. يتكاثف العضلى فى اللفائفى عند هذه النقطة ليشكل صمامًا يسمى الحليمة اللفائفية، التى تبرز داخل الأعور.
تتكون الحليمة من زوج من الشفاه مع فتحة، وهى فتحة اللفائفى، بينهما. تقوم الحليمة اللفائفية بتنظيم مرور بقايا الطعام إلى الأمعاء الغليظة وعادةً ما تمنع ارتجاع البراز إلى اللفائفى.

٥.٥٢ب الدورة الدموية

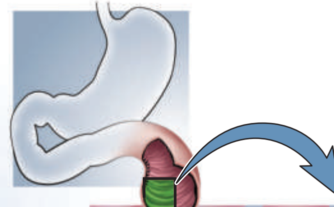
يتلقى الأمعاء الدقيقة تقريبًا كل إمدادها الدموى من الشريان المساريقى العلوى، الذى يتفرع عبر المساريق ليعطى ٢١ إلى ٥١ شريانًا jejunal وشريانًا ileal يؤديان إلى جدار الأمعاء)انظر الشكل ٦٣.٠٢أ(. تتفرع هذه الشرايين فى جميع أنحاء تحت المخاطية وتعطى شبكات شعيرية فى الزغابات)وصفها لاحقًا(، حيث يلتقط الدم جميع المغذيات الممتصة باستثناء الدهون. يتجمع الدم من هنا فى مجموعة أخرى تشبه المروحة من الأوردة المساريقية، التى تخرج عبر الوريد المساريقى العلوى)انظر الشكل ٨٣.٠٢أ(. ينضم هذا إلى الوريد الطحالى ثم يتدفق إلى نظام البوابة الكبدى، متجهًا إلى الكبد مع حمولته من المغذيات.

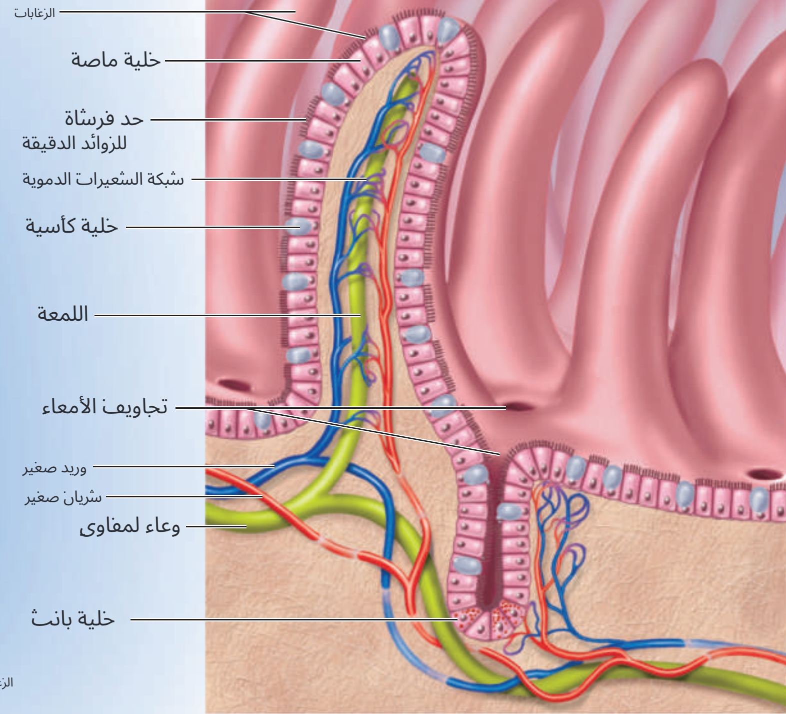
---

[20] الجيجونوم = فارغ، جاف
[21] من *إيلوس* = ملتوى
[22] يوهان ك. باير)1653–1712(، عالم التشريح السويسرى

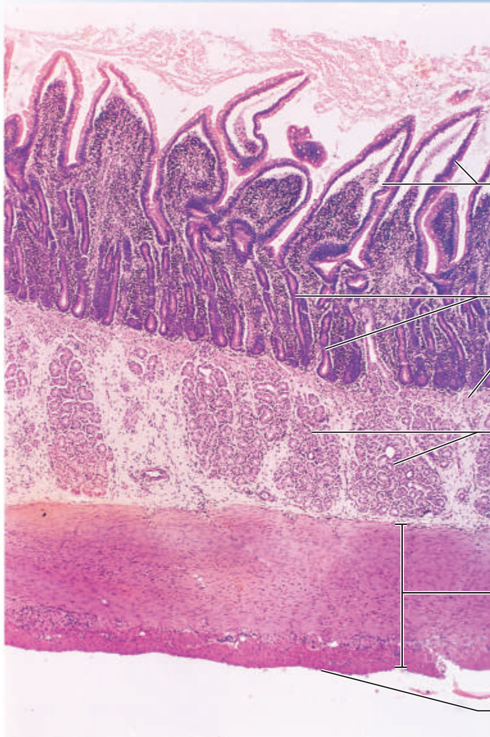


)أ(





)ح(



)ب(

الشكل ٦٢.٥٢ زغابات الأمعاء.)أ(الزغابات)المجهر الإلكترونى الماسح(. يبلغ ارتفاع كل زغابة حوالى ١ مم.)ب(مقطع نسيجى للاثنى عشر يظهر الزغابات، تجاويف الأمعاء، وغدد الاثنى عشر.)ح(تركيب الزغابة.

أ: ميكس/أوتاوا/مصدر علمى؛ ب: دينيس ستريت/ماكجرو هيل

تؤثر على خلايا الجهاز المناعى فى الجهاز الهضمى)الخلايا التغصنية(لتـ تحمل مستضدات الطعام والبكتيريا المفيدة. فى جميع أنحاء الأمعاء الد قيقة، تحتوى الطبقة الغشائية والطبقة تحت المخاطية على عدد كبير م ن اللمفاويات التى تعترض مسببات الأمراض قبل أن تتمكن من غزو م جرى الدم.

25.5د إفراز الأمعاء

تفرز تجاويف الأمعاء 1 إلى 2 لتر من عصارة الأمعاء يوميًا، خاصة ا ستجابةً للحموضة، واللمف المفرط التوتر، وتمدد الأمعاء. يحتوى هذا السائل على درجة حموضة تتراوح بين 7.4 إلى 7.8. يحتوى على الماء والمخاط ولكن به إنزيمات قليلة نسبيًا. توجد معظم الإنزيمات التى تع مل فى الأمعاء الدقيقة فى الحدود الفرشية وعصارة البنكرياس.

25.5هـ حركة الأمعاء

تخدم تقلصات الأمعاء الدقيقة ثلاث وظائف:)1(خلط اللمف مع ع صارة الأمعاء، والصفراء، وعصارة البنكرياس، مما يسمح لهذه السوائ ل بتحييد الحمض وهضم المغذيات بشكل أكثر فعالية؛)2(تحريك ال لمف وجعله على اتصال بالغشاء المخاطى للهضم التلامسى وامتصا ص المغذيات؛ و)3(دفع البقايا نحو الأمعاء الغليظة.

التقسيم هو حركة تظهر فيها تضييقات حلقية ثابتة فى عدة أما كن على طول الأمعاء ثم تسترخى مع تكوين تضييقات جديدة فى أما كن أخرى)الشكل 25.27أ(. هذا هو النوع الأكثر شيوعًا من تقلصات ا لأمعاء. تأثيره هو عجن أو تحريك المحتويات. تحدد خلايا المنظم الإيقا عى فى الطبقة العضلية الخارجية إيقاع التقسيم، مع تقلصات حوالى 12 مرة فى الدقيقة فى الاثنى عشر و8 إلى 9 مرات فى الدقيقة فى ال لفائفى. نظرًا لأن التقلصات أقل تواترًا فى المناطق البعيدة، يسبب ا لتقسيم تقدمًا بطيئًا للمف نحو القولون.

تتغير شدة)ولكن ليس تردد(التقلصات بتأثيرات عصبية وهرمونية.

تعطى الدهون محتوياتها مظهراً حليبيًا، ولهذا سُمى اللمف اللمفاوى) lacteal(بهذا الاسم.[23] يحتوى لب الزغابة أيضًا على بعض خلايا ال عضلات الملساء التى تنقبض بشكل دورى. هذا يعزز خلط الكيموس فى تجويف الأمعاء ويضغط اللمف نحو الأوعية اللمفاوية الأكبر فى تح ت المخاطية.

الأهداب الدقيقة هى امتدادات أصغر بكثير لغشاء البلازما، يبلغ ا رتفاعها حوالى 1 ميكرومتر، وتشكل حدود فرشاة ضبابية على سطح كل خلية معوية. بالإضافة إلى زيادة مساحة السطح، تحتوى على إنزيما ت حدود الفرشاة كجزء من غشاء البلازما. تقوم هذه الإنزيمات ببعض المراحل النهائية للهضم الكيميائى.

لا تُفرز هذه الإنزيمات فى التجويف؛ بل يجب أن يلامس الكيموس ح دود الفرشاة ليحدث الهضم. تُسمى هذه العملية الهضم بالتلامس، وه ى أحد الأسباب التى تجعل من المهم جدًا أن تقوم تقلصات الأمعاء بخلط الكيموس وضمان ملامسته للمخاطية بالكامل. وإلا فلن يتم ه ضمه بالكامل أبدًا.

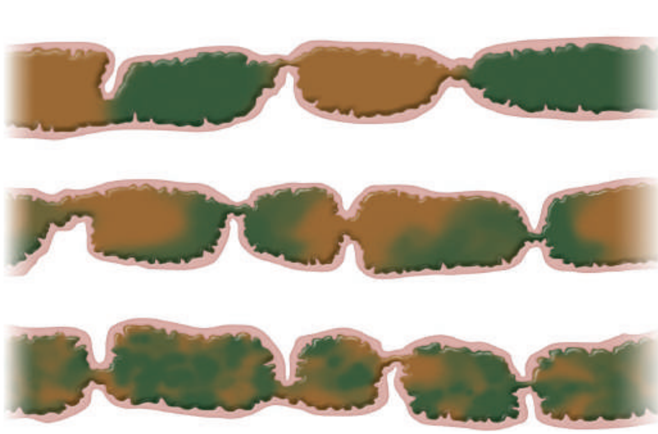
على أرضية الأمعاء الدقيقة، بين قواعد الزغابات، توجد العديد م ن المسام التى تفتح على غدد أنبوبية تُسمى التجاويف المعوية)كانت تُسمى سابقًا تجاويف ليبركون(. تمتد هذه التجاويف، المشابهة للغدد المعدية، حتى الطبقة العضلية المخاطية. فى النصف العلوى، تتكون من خلايا معوية وخلايا كأسية مثل تلك الموجودة فى الزغابات. أما الن صف السفلى فيهيمن عليه خلايا جذعية منقسمة. خلال فترة حياتها ا لتى تتراوح بين 3 إلى 6 أيام، تهاجر الخلية الطهارية صعودًا من التجو يف إلى قمة الزغابة، حيث تُطرح وتهضم. يوجد عدد قليل من خلايا بانث[24] مجمعة عند قاعدة كل تجويف.

تفرز هذه الخلايا الليزوزيم، الفسفوليباز، والديفنسينات—وهى بروتينا ت دفاعية تقاوم غزو البكتيريا للمخاطية.

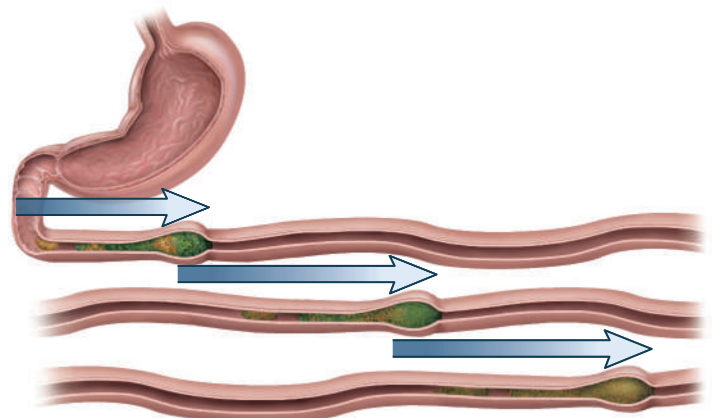
يحتوى الاثنا عشر على عدد الاثنى عشرية بارزة فى تحت المخاط ية. تفرز هذه الغدد كمية كبيرة من المخاط الغنى بالبيكربونات، الذى يعادل حمض المعدة ويحمى المخاطية من تأثيراته التآكلية. كما يحتو ى المخاط على جزيئات إشارية التى

[23] *lact* = حليب

[24] جوزيف بانث)1857–1890(، طبيب نمساوى



)أ(التقسيم



)ب(التمعج

الشكل 25.27 أنواع حركة الأمعاء.)أ(التقسيم، يظهر المراحل التدريجية من الأعلى إلى الأسفل. الانقباضات الدائرية للأمعاء تقطع المحتويات، تعجنها وتمزج ها كما هو ممثل بالدمج التدريجى للونين.)ب(المركب الحركى المهاجر للحركة الدودية، حيث تتداخل موجات متتالية من الحركة الدودية. كل موجة تسير جزءًا من طول الأمعاء وتدفع المحتويات نحو القولون.

25.6أ الكربوهيدرات

معظم الكربوهيدرات الغذائية القابلة للهضم هي النشا. السليلوز غير قابل للهضم ولا يُؤخذ بعين الاعتبار هنا، رغم أهمية الألياف الغذائية ا لتي يناقشها الفصل التالي. كمية الجليكوجين في النظام الغذائي ضئ يلة، لكنه يُهضم بنفس طريقة النشا.

يتم هضم النشا أولاً إلى أوليجوسكاريدات تصل إلى ثمانية وحدا ت جلوكوز، ثم إلى ثنائي السكاريد المالتوز، وأخيراً إلى الجلوكوز الذي يمتصه الأمعاء الدقيقة. تبدأ العملية في الفم، حيث يقوم إنزيم الأميلا ز اللعابي بتفكيك النشا إلى قطع أقصر)أوليجوسكاريدات(. يعمل الأم يلاز اللعابي بشكل أفضل عند درجة حموضة تتراوح بين 6.8 إلى 7.0، وهي درجة الحموضة النموذجية لتجويف الفم. يتعرض الأميلاز للتغير البنيوي بسرعة عند ملامسته لحمض المعدة، لكنه يمكنه هضم النشا لمدة تتراوح بين ساعة إلى ساعتين في المعدة إذا كان محاطًا بكتلة ط عام ولم يتعرض للحمض. لذلك يعمل الأميلاز لفترة أطول عندما تكون الوجبة أكبر، خاصة في القاع)fundus(حيث تكون حركة المعدة أضع ف وتأخذ كتلة الطعام وقتًا أطول للتفكك. مع تحلل الكتلة بفعل الحم ض، والبيبسين، وانقباضات المعدة، يتغير تركيب الأميلاز؛ إذ لا يعمل عند درجة حموضة أقل من 4.5.

كونه بروتينًا، يتم هضم الأميلاز بواسطة البيبسين مع البروتينات الغذائية.

يتم هضم حوالي ٥٠٪ من النشا الغذائي قبل أن يصل إلى الأمعاء الدقيقة. ويستأنف هضمه في الأمعاء الدقيقة عندما يختلط الكيموس مع الأميلاز البنكرياسي)الشكل ٢٥.٢٨(. يتم تحويل النشا بالكامل إلى أوليجوسكاريدات ومالتوز خلال ١٠ دقائ ق. ويكتمل هضمه عندما يلامس الكيموس الحد الحدّي لخلايا الأمعاء . إن إنزيمي الحد الحدّي، ديكستريناز و جلوكو أميلاز، يقومان بتحليل ا لأوليجوسكاريدات التي هي

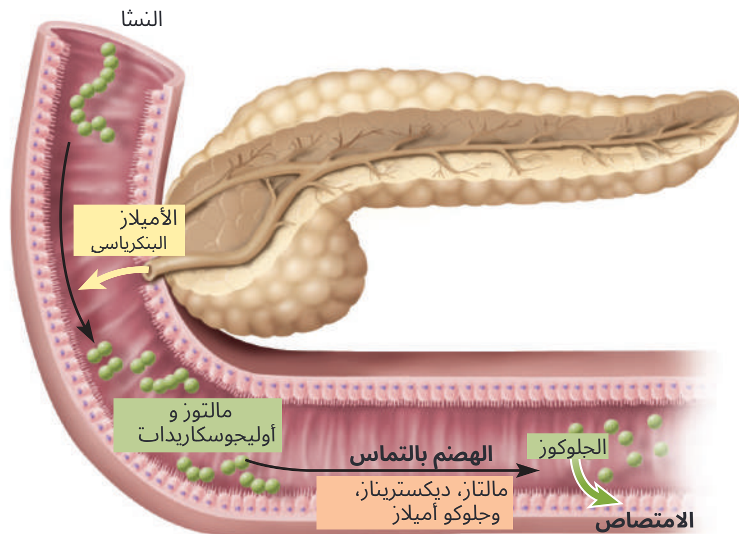


FIGURE 25.28 Starch Digestion in the Small Intestine. يهضم الأميلاز البنكرياسي النشا إلى مالتوز وأوليجوسكاريدات صغيرة. تقوم إنزيمات الحد الحدّي)مالتاز، ديكستريناز، وجلوكو أميلاز(به ضم هذه إلى جلوكوز، الذي تمتصه الخلايا الطلائية.

عندما يتم امتصاص معظم المغذيات ويبقى القليل فقط من المخلفات غير المهضومة، ينخفض التقسيم وتبدأ الحركة الدودية. يفرز الاثنا عشر هرمونًا يسمى موتيلين يحفز موجة حركة دودية تبدأ في الاثنا عشر. تسير الموجة من 10 إلى 70 سم ثم تختفي، لتتبعها موجة أخرى تبدأ أبعد قليلاً في الأنبوب من الموجة الأولى)الشكل 25.27ب(. تسمى هذه الموجات المتتالية المتداخلة من الانقباض المركب الحركي المهاجر. تقوم بدفع الكيموس نحو القولون على مدى حوالي ساعتين. ثم يدفع مركب ثانٍ المخلفات والبكتيريا من الأمعاء الدقيقة، مما يساعد على الحد من استعمار البكتيريا. إعادة ملء المعدة في الوجبة التالية تثبط الحركة الدودية وتعيد تنشيط التقسيم مع دخول كيموس جديد إلى الأمعاء الدقيقة.

عادةً ما تكون الحليمة اللفائفية مغلقة. ومع ذلك، فإن الطعام في المعدة يحفز كلًا من إفراز الجاسترين والانعكاس المعدي اللفائفي، وال لذان يعززان التقسيم في اللفائفي ويرخيان الحليمة. مع امتلاء الأعور بالمخلفات، يضغط الضغط على الحليمة لإغلاقها ويمنع ارتجاع محتو يات الأعور إلى اللفائفي.

ل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

18. ما هي الهياكل الثلاثة التي تزيد من مساحة السطح الامتصاصية للأمعاء الدقيقة؟

19. ارسم زغابة ووسم طهارتها، الحد الحدودي)brush border(، الصفيحة الخاصة)lamina propria(، الشعيرات الدموية، والقناة اللمفاوية)lacteal(.

20. ميز بين التقسيم)segmentation(والمجمع الحركي المهاجر)migrating motor complex(في الأمعاء الدقيقة. كيف تختلف هذ ه الوظائف؟

25.6 الهضم الكيميائي والام تصاص

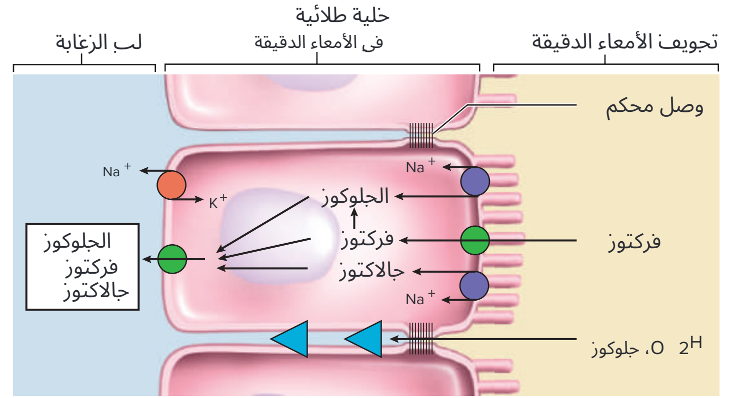
نتائج التعلم المتوقعة

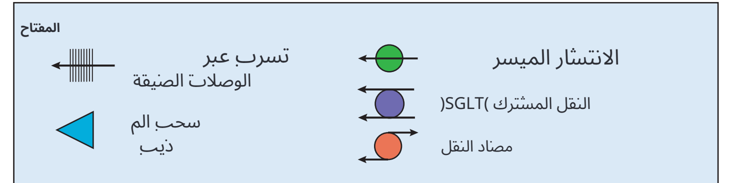
عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف كيفية هضم كل فئة رئيسية من المغذيات كيميائيًا، وذكر الإنزيمات المشاركة، ومناقشة الفروق الوظيفية بين هذه الإنزي مات؛ و

ب. وصف كيفية امتصاص كل نوع من المغذيات بواسطة الأمعاء الدقيقة.

يُعتبر الهضم الكيميائي وامتصاص المغذيات قد اكتمل أساسًا بحلول الوقت الذي يغادر فيه بقايا الطعام الأمعاء الدقيقة ويدخل الأعور. ولك ن قبل الانتقال إلى وظائف الأمعاء الغليظة، نتتبع كل فئة رئيسية من المغذيات—وخاصة الكربوهيدرات، البروتينات، والدهون—من الفم م رورًا بالأمعاء الدقيقة لنرى كيف يتم تحللها كيميائيًا وامتصاصها.





الشكل 25.29 امتصاص السكريات الأحادية فى الأمعاء الدقيقة. يتم امتصاص الجلوكوز والجالاكتوز بواسطة ناقلات SGLT فى الأغشية القمية للخلايا الامتصاصية (يمين). كما يتم امتصاص الجلوكوز مع الماء عبر المسار بين الخلوى (بين الخلايا) بواسطة السحب بالمذيب. يتم امتصاص الفركتوز بشكل منفصل عن طريق الانتشار المسهل. يتحول معظم الفركتوز إلى جلوكوز داخل الخلية الطلائية. تمر السكريات الأحادية عبر الغشاء القاعدى للخلية عن طريق الانتشار المسهل (يسار) ثم تمتصها الشعيرات الدموية فى الزغابة.

غشاء البلازما لخلايا الأمعاء (الانتروسايت) يحتوى على بروتينات نقل تمتص السكريات الأحادية بسرعة بقدر ما تنتجها الإنزيمات السابقة (الشكل 25.29). حوالى 80% من السكر الممتص هو جلوكوز، يتم امتصاصه بواسطة ناقل الصوديوم-الجلوكوز (SGLT) مثل ذلك الموجود فى أنابيب الكلى (انظر القسم 23.4أ). يتم نقل الجلوكوز بعد ذلك من قاعدة الخلية إلى السائل خارج الخلية (ECF). دخول السكر إلى السائل خارج الخلية يزيد من أسمولاريته، وهذا يجذب الماء أسموزيًا من تجويف الأمعاء، عبر الوصلات الضيقة المتسربة بين الخلايا الطلائية. يحمل الماء المزيد من الجلوكوز والمغذيات الأخرى معه عن طريق السحب بالمذيب، تمامًا كما يحدث فى الكلى. بعد وجبة غنية بالكربوهيدرات، يمتص السحب بالمذيب كمية من الجلوكوز تعادل مرتين إلى ثلاث مرات كمية ما يمتصه SGLT.

يمتص SGLT أيضًا الجالاكتوز، بينما يمتص الفركتوز عن طريق الانتشار المسهل باستخدام ناقل منفصل لا يعتمد على Na^+. داخل الخلية المعوية، يتحول معظم الفركتوز إلى جلوكوز. ثم يتم نقل الجلوكوز والجالاكتوز والكمية الصغيرة المتبقية من الفركتوز من قاعدة الخلية عن طريق الانتشار المسهل ويمتصها الشعيرات الدموية فى الزغابة. ينقل النظام البابى الكبدى هذه السكريات إلى الكبد؛ الفصل التالى يتابع مصير هذه السكريات من هناك.

ثلاثة أو أكثر من البقايا، بينما المالتاز يحلل المالتوز. المنتج النهائى لجميع هذه هو الجلوكوز، الذى يتم امتصاصه بعد ذلك. المالتوز موجود أيضًا فى بعض الأطعمة، لكن السكريات الثنائية الغذائية الرئيسية هى السكروز (سكر القصب) واللاكتوز (سكر الحليب). يتم هضمها بواسطة إنزيمات فرشاة الحدود السكراز و اللاكتاز على التوالى، ويتم امتصاص السكريات الأحادية الناتجة على الفور (الجلوكوز والفركتوز من الأول؛ الجلوكوز والجالاكتوز من الثانى). ومع ذلك، فى معظم سكان العالم، يتوقف إنتاج اللاكتاز أو ينخفض إلى مستوى منخفض بعد سن 4 سنوات ويصبح اللاكتوز غير قابل للهضم (انظر نظرة أعمق 25.4).



نظرة أعمق 25.4

تطبيق سريرى

عدم تحمل اللاكتوز

الإنسان العاقل (هومو سابينس) هو نوع غريب بالفعل — الثديى الوحيد الذى يستمر فى شرب الحليب بعد فترة الرضاعة، والأغرب من ذلك، يشرب حليب أنواع أخرى! لهضم سكر الحليب (اللاكتوز) يحتاج إلى إنزيم اللاكتاز. من المفهوم أن إنتاج اللاكتاز يتوقف عادة بعد الفطام فى الثدييات، بما فى ذلك معظم البشر حول العالم. يؤدى توقفه إلى عدم تحمل اللاكتوز، وهو عدم القدرة على هضم اللاكتوز. يحدث هذا فى حوالى 90% من الأمريكيين السود، الذين ينحدرون فى الغالب من قبائل أفريقية لم تربِ المواشى من أجل الحليب تاريخياً؛ 15% من الأمريكيين البيض؛ 70% أو أكثر من شعوب البحر الأبيض المتوسط؛ وتقريباً جميع الأشخاص من أصل آسيوى، بما فى ذلك الذين ينحدرون من المهاجرين الأصليين إلى الأمريكتين.

إذا استهلك شخص يعانى من عدم تحمل اللاكتوز الحليب، يمر اللاكتوز غير مهضوم إلى الأمعاء الغليظة، مما يزيد من أسمولارية محتويات الأمعاء، ويسبب احتباس الماء فى القولون والإسهال. بالإضافة إلى ذلك، تنتج بكتيريا القولون غازات من تخمير اللاكتوز، مما يؤدى إلى تقلصات مؤلمة وانتفاخ البطن. ومع ذلك، يمكن للأشخاص الذين يعانون من عدم تحمل اللاكتوز تناول منتجات مثل الزبادى والجبن، حيث قامت البكتيريا بتفكيك اللاكتوز، ويمكنهم هضم الحليب والآيس كريم بمساعدة أقراص اللاكتاز.

يُشفر اللاكتاز بواسطة جين يُسمى *LCT* على الكروموسوم 2. فى معظم الناس، بعد سن الفطام، يقوم جين آخر على نفس الكروموسوم، MCM6، بإيقاف LCT. يتناقص إنتاج اللاكتاز وينتهى فى النهاية، مما يجعل الفرد غير قادر على هضم اللاكتوز. العديد من الأشخاص الذين يمكنهم تناول منتجات الألبان بحرية لديهم طفرة فى جين MCM6 الذى يجعل من غير الممكن إيقاف *LCT*. هذا يمنحهم حالة استمرار إنتاج اللاكتاز، وهو الاستمرار فى إنتاج اللاكتاز فى مرحلة البلوغ، مع قدرة دائمة على هضم اللاكتوز. تشير تحليلات الحمض النووى لهياكل عظمية أوروبية قديمة إلى أن طفرة *MCM6* ظهرت منذ حوالى 4300 سنة. وقعت طفرات أخرى تؤدى إلى استمرار إنتاج اللاكتاز بشكل مستقل فى ثلاث مجموعات سكانية على الأقل فى أفريقيا. اليوم، يُوجد استمرار إنتاج اللاكتاز فقط لدى شعوب غرب وشمال أوروبا، ومنغوليا، وبعض القبائل الرعوية فى أفريقيا، وأحفادهم فى الأمريكتين وأماكن أخرى. لديهم تاريخ أجدادى فى حلب الحيوانات المستأنسة يعود إلى ما يقرب من 10 000 سنة.

أسباب استمرار إنتاج اللاكتاز أكثر تعقيدًا من مجرد العوامل الوراثية. هناك درجات مختلفة من تحمل اللاكتوز وعدم تحمله، ويبدو أن العوامل البيئية تلعب دورًا فى ذلك. بعض الأشخاص، مثل السكان المهاجرين، يكتسبون التحمل مع مرور الوقت من خلال التعرض لمنتجات الألبان.

يكسر الدهون إلى قطرات صغيرة موزعة في الكيموس المائي — أي أ نه *يستحلب* الدهون، مما يعرض سطحًا أكبر بكثير للعمل الإنزيمي. تُمرر قطرات الاستحلاب الناتجة بسرعة إلى الاثني عشر وتُغطى بمكو نات معينة من الصفراء — الليسيثين وأحماض الصفراء. تحتوي هذه العوامل على مناطق كارهة للماء تجذب سطح قطرة الدهون ومناطق محبة للماء تجذب الماء المحيط. يؤدي التحريك الناتج عن تقسيم الأم عاء إلى تفتيت الدهون أكثر إلى قطرات صغيرة تصل إلى 1 ميكرومتر، ويحافظ تغليف الليسيثين وأحماض الصفراء على تفتيتها، مما يمنع تجمع القطرات لتكوين كريات أكبر.

يوجد ما يكفي من *الليباز البنكرياسي* في الأمعاء الدقيقة بعد الو جبة لهضم متوسط كمية الدهون اليومية في دقيقة أو دقيقتين فقط. عندما يعمل الليباز على ثلاثي الجليسريد، يزيل الحمضين الدهنيين الأ ول والثالث من العمود الفقري للجلسرين وعادةً ما يترك الحمض الأو سط. لذلك، تكون نواتج عمل الليباز حمضان دهنيان حران (FFA) وأحا دي الجليسريد. وبما أنها أصغر من ثلاثي الجليسريد، فهي أكثر ذوبانًا في غشاء البلازما لخلايا الأمعاء وبالتالي أسهل في الامتصاص.

يعتمد امتصاص الدهون على قطرات دقيقة في الصفراء تُسمى الميسيلات[25] (my-SELLS). تتكون الميسيلات، التي تُ صنع في الكبد، من 20 إلى 40 جزيء حمض صفراوي مجمعة بحيث تواجه مجموعاتها المحبة للماء للخارج وحلقاتها الستيرويدية الكارهة ل لماء للداخل. تنتشر الفسفوليبيدات والكوليسترول الصفراوي إلى مر كز الميسيلة لتشكيل نواتها. تمر الميسيلات عبر القناة الصفراوية إلى ا لاثني عشر، حيث تمتص الفيتامينات الذائبة في الدهون، والمزيد من الكوليسترول، والأحماض الدهنية وأحادي الجليسريد الناتجين عن ه ضم الدهون. وبفضل أسطحها المشحونة والمحبة للماء، تبقى الميس يلات معلقة في الماء بسهولة أكثر من الدهون الحرة.
عندما تلامس خلايا الأمعاء (الانتروسايتات)، تطلق حمولتها من الدهون. بعض الدهون ببساطة تنتشر عبر غشاء البلازما إلى داخل خلايا الأمعاء ، لكن هذه الخلايا تحتوي أيضًا على بروتينات ناقلة محددة تسهل امت صاصها. تُعاد استخدام الميسيلات، حيث تلتقط حمولة أخرى من الده ون وتنقلها إلى خلايا الأمعاء. بدون الميسيلات، تمتص الأمعاء الدقيق ة حوالي 40% إلى 50% فقط من الدهون الغذائية وقليل جدًا من الكو ليسترول.
داخل الخلايا المعوية، يتم نقل الأحماض الدهنية وأحاديات الجل سريد إلى الشبكة الإندوبلازمية الملساء وإعادة تركيبها إلى ثلاثي الجل سريد. يقوم جهاز جولجي بدمج هذه مع كمية صغيرة من الكوليسترول ويغلف المركب بطبقة من الفسفوليبيد والبروتين، مكونًا قطرات يترا وح قطرها بين 75 إلى 1200 نانومتر تُسمى الكيلومكرونات[26] (KY-lo-MY-crons). يقوم بتعبئة الكيلومكرونات في حوي صلات إفرازية تهاجر إلى السطح القاعدي للخلية وتفرغ محتوياتها في نواة الزغابة. على الرغم من دخول بعض الأحماض الدهنية الحرة إلى ا لشعيرات الدموية الدموية، إلا أن الكيلومكرونات كبيرة جدًا بحيث لا يمكنها اختراق البطانة الداخلية. بدلاً من ذلك، يتم امتصاصها بواسطة القنوات اللمفاوية الأكثر مسامية، المعروفة باللاكتيلات، إلى اللمف. هذا اللمف المعوي الدهني الأبيض الحليبي، المسمى *الكيل* (يُنطق "كيل")، يتدفق عبر أوعية لمفاوية أكبر وأكبر في المساريق، ويمر في ا لنهاية عبر الخزانة الكيلية (انظر الشكل 21.1) إلى القناة الصدرية، ثم يدخل مجرى الدم عند الوريد تحت الترقوة الأيسر. يتم وصف المصير ا للاحق للدهون الغذائية في الفصل التالي.

[25] *ميك* = حبة، فتات؛ *إيلي* = صغير
[26] *كيل* = عصير؛ ميكر = صغير

25.6ب البروتينات

الأحماض الأمينية التي يمتصها الأمعاء الدقيقة تأتي من ثلاثة مصادر: (1) البروتينات الغذائية، (2) الإنزيمات الهاضمة التي تهضم بعضها البعض، و(3) الخلايا الطلائية المتساقطة التي تهضمها هذه الإنزيمات. يبلغ مجموع ا لأحماض الأمينية من المصدرين الأخيرين حو 30 جرامًا يوميًا، مقارنة بحوا لي 44 إلى 60 جرامًا يوميًا من النظام الغذائي.
الإنزيمات التي تهضم البروتينات تسمى البروتيازات (الببتيدازات). هي غائبة في اللعاب لكنها تُصادف أولاً في المعدة. هنا، يقوم البيبسين بتحليل أي رابطة ببتيدية بين التيروزين والفينيل ألانين، مما يهضم 10% إلى 15% من البروتين الغذائي إلى ببتيدات قصيرة وكميات صغيرة من الأحماض الأمينية الحرة (الشكل 25.30). للبيبسين درجة حموضة مثالية بين 1.5 و3.5، لذا يتم تعطيله عندما ينتقل إلى الاثني عشر ويختلط بالعصارة البنكرياسية القلوية (درجة الحموضة 8).
في الأمعاء الدقيقة، تتولى الإنزيمات البنكرياسية التربسين والكي موتربسين مهمة تحليل الببتيدات إلى ببتيدات قصيرة أكثر. وأخيرًا، ي تم تفكيكها واحدة تلو الأخرى بواسطة ثلاثة إنزيمات أخرى: (1) كاربوك سي ببتيداز يزيل الأحماض الأمينية من نهاية —COOH للسلسلة؛ (2)أمينوببتيداز يزيلها من نهاية —NH_2؛ و(3) داي ببتيداز يقسم الدا ي ببتيدات في المنتصف ويحرر آخر حمضين أمينيين حرين. الإنزيمان الأخيران هما إنزيمات حدود الفرشاة، بينما كاربوكسي ببتيداز هو إفراز بنكرياسي.

امتصاص الأحماض الأمينية مشابه لامتصاص أحاديات السكر. لدى خلايا الأمعاء عدة ناقلات مشتركة للأحماض الأمينية تعتمد على الصوديوم لفئات مختلفة من الأحماض الأمينية. يمكن أيضًا امتصاص الداي ببتيدات والتري ببتيدات، لكنها تهضم داخل الخلايا المعوية قبل أن تُطلق أحماضها الأمينية إلى مجرى الدم. عند الأسطح القاعدية للخلايا، تتصرف الأحماض الأمينية مثل أحاديات السكر التي نوقشت سابقًا — تخرج من الخلية عن طريق الانتشار الميسر، وتدخل شعيرات الزغابة، وتحمل بعيدًا في الدورة الدموية البابية الكبدية.
يمكن لخلايا الامتصاص عند الرضع أن تأخذ البروتينات السليمة عن طريق الالتقام الخلوي وتفرجها إلى الدم عن طريق الإفراز الخلالي. هذا يسمح للأجسام المضادة (IgA) من حليب الأم بالانتقال إلى مجر ى دم الرضيع ومنحه مناعة سلبية من الأم إلى الرضيع.
ومع ذلك، فإن له عيبًا يتمثل في أن البروتينات السليمة التي تدخل د م الرضيع تُكتشف كأجسام مضادة غريبة وأحيانًا تُحفز حساسية الطعا م. ومع نضوج الأمعاء، تنخفض قدرتها على ابتلاع البروتين عبر الخلايا (pinocytosis) لكنها لا تتوقف تمامًا.

25.6ح الدهون

تجعل الخاصية الكارهة للماء للدهون هضمها وامتصاصها أكثر تعقيدًا من الكربوهيدرات والبروتينات (الشكل 25.31). تُهضم الدهون بواسطة إنزيمات تُسمى الليبازات. *الليباز اللساني*، الذي تفرزه الغدد اللعابية الداخلية للسان، يهضم كمية صغيرة من الدهون بينما لا يزال الطعام في الفم، لكنه يصبح أكثر ن شاطًا في الحموضة الحمضية للمعدة. هنا ينضم إليه *الليباز المعدي*، الذي يساهم بشكل أكبر في هضم الدهون قبل الاثني عشر. يتم هضم حوالي 10% إلى 15% من الدهون الغذائية قبل أن ينتقل الكيموس إ لى الاثني عشر.
كونها كارهة للماء، تتخذ الدهون المتناولة شكل كريات لا يمكن لهذ ه الليبازات مهاجمتها إلا على السطح فقط دون معالجة فيزيائية إضافية . وهذا يؤدي إلى هضم بطيء وغير فعال إلى حد ما. ومع ذلك، فإن ال ضخ القوي للجزء السفلي من المعدة (الأنترال) الذي وُصف سابقًا،

الفم

لا يحدث هضم كيميائى.

بروتين

المعدة

ببسين ( ) يحلل بعض الروابط الببتيدية، مكسراً البروتين إلى ببتيدات أصغر.

بروتين

ببتيدات متعددة

الأمعاء الدقيقة
أفعال إنزيمات البنكرياس

تقوم التربسين ( ) والكيموتربسين ( ) بهضم روابط الببتيد الأخرى، مما يؤدى إلى تحليل الببتيدات المتعددة إلى ببتيدات قصيرة أصغر.

ببتيدات متعددة

ببتيدات قليلة

تقوم الكاربوكسى ببتيداز ( ) بإزالة حمض أمينى واحد فى كل مرة من نهاية الكربوكسيل (COOH—) لببتيد قصير.

الأمعاء الدقيقة
أفعال إنزيمات حافة الفرشاة (الهضم التماسى)

كاربوكسيببتيداز

أمينوببتيداز

ديببتيداز

تستمر الكاربوكسى ببتيداز ( ) فى الحدود الفرشية بإزالة الأحماض الأمينية من نهاية الكربوكسيل (COOH—).

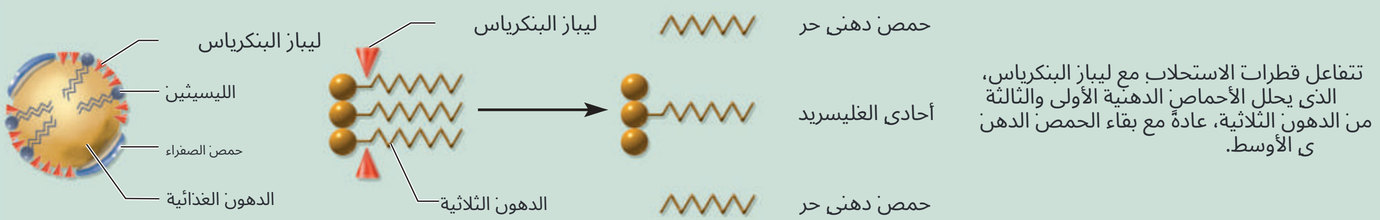
تقوم الأمينوببتيداز ( ) فى الحدود الفرشية بإزالة حمض أمينى واحد فى كل مرة من النهاية الأمينية (NH_2—).

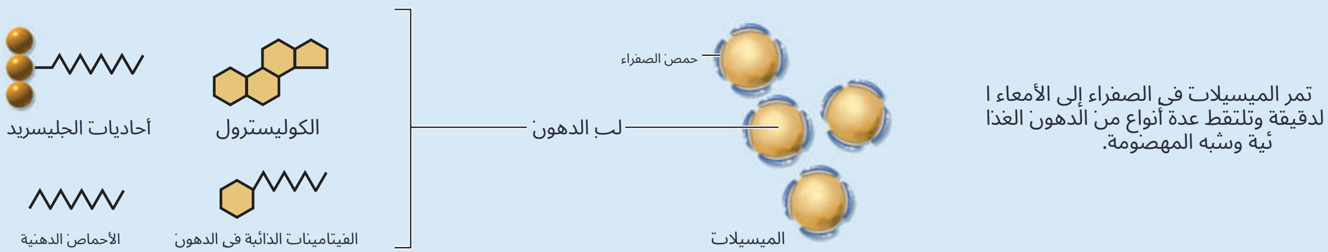
يقوم إنزيم الديببتيداز ( ) بتقسيم الديببتيدات ( ) إلى أحماض أمينية منفصلة ( ).

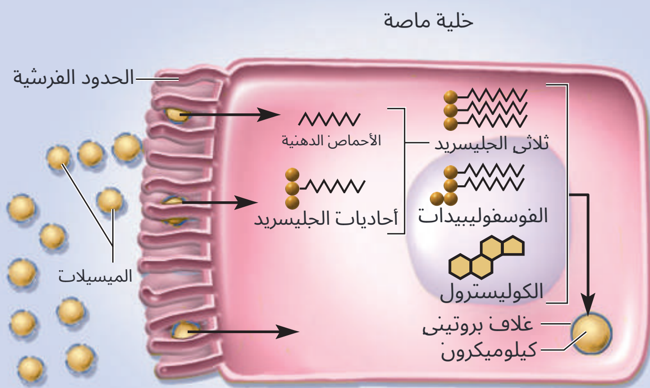
شعيرة دموية لزغابة الأمعاء

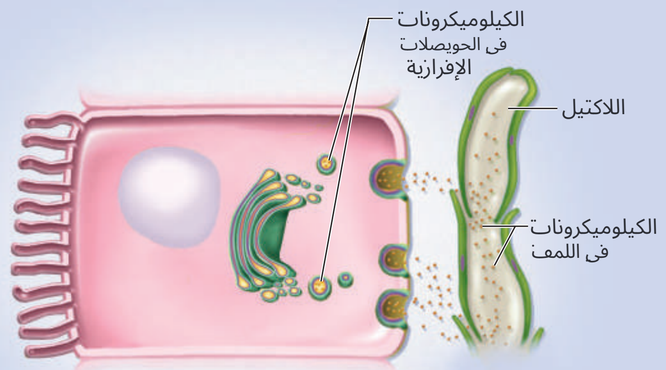
الشكل 25.30 هضم وامتصاص البروتين.











الشكل 25.31 هضم وامتصاص الدهون.

والكبد للتخزين)انظر الشكل 18.7(. الحديد الغذائى الزائد، إذا تم امت
صاصه، يرتبط بشكل لا رجعة فيه بالفيريتين فى الخلية المعوية ويُح
تجز هناك حتى تتساقط تلك الخلية وتمر مع البراز. يتم تنظيم امتصا
ص الحديد وتحريكه بواسطة هرمون الكبد
هيبسيدين. فرط الحديد سام بشكل خطير)فى الواقع، هو
سبب رئيسى للوفاة عند الأطفال الصغار الذين يتناولون حبوب
مكملات الحديد الخاصة بالوالدين(، لكن الهيبسيدين يمنع عادةً حدوث فرط الحديد.
إنه *يثبط* امتصاص الحديد المعوى وتحريك الحديد من الكبد، مما يم
نع ارتفاع مستوى الحديد فى الدم إلى حد مرتفع جدًا. فقر الدم ونقص
الأكسجة يقللان من تخليق الهيبسيدين، مما يزيل تأثيره المثبط وبال
تالى يسمح بزيادة امتصاص الحديد الغذائى وتحريك الحديد المخزن
ليصبح متاحًا لتكوين الهيموغلوبين.

▶▶▶ طبق ما تعرفه
تمتلك النساء البالغات عددًا من بروتينات نقل الحديد فى
الغشاء المخاطى المعوى يزيد بأربعة أضعاف عن الرجال.
هل يمكنك شرح ذلك من حيث الأهمية الوظيفية؟

يمتص الأمعاء الدقيقة تقريبًا كل الفوسفات الغذائى،
غالبًا عن طريق النقل النشط. بالمقابل، يمتص فقط حوالى
40% من الكالسيوم الغذائى، تاركًا الباقى ليُطرح مع البراز.
لذلك، يجب أن يكون تناول الكالسيوم الغذائى على الأقل ضعف الحا
جة الفسيولوجية للجسم. فى الاثنى عشر، يُمتص الكالسيوم عن طريق
المسار العابر للخلايا. يدخل إلى الخلايا المعوية من خلال قنوات الكال
سيوم فى الغشاء البلازمى القمى ويرتبط ببروتين خلوى يُسمى *كالبيند
ين*. هذا يحافظ على تركيز الكالسيوم الحر داخل الخلية منخفضًا، مما
يحافظ على تدرج يسهل الامتصاص. أما الكالسيوم الحر الموجود فى ا
لسيتوبلازم فيتم ضخه خارج الجانب القاعدى للخلية بواسطة النقل ال
نشط، باستخدام بروتين يُسمى *كالسيوم–ATPase* بالإضافة إلى *مباد
ل الصوديوم–الكالسيوم*. من هناك، يدخل إلى الشعيرات الدموية فى
الزغابة.
امتصاص الكالسيوم عبر الخلايا يخضع لتأثير هرمونى.
يُفرز هرمون الغدة الجار درقية استجابة لانخفاض مستوى
الكالسيوم فى الدم. يحفز الكلى على تصنيع فيتامين د
من السوابق التى تصنعها البشرة والكبد)انظر الشكل 7.16(.
ثم يؤثر فيتامين د على خلايا الامتصاص فى الاثنى عشر
بثلاث طرق: يزيد عدد قنوات الكالسيوم فى الغشاء القمى،
كمية الكالبيندين فى السيتوبلازم، وعدد مضخات
الكالسيوم–ATPase فى الغشاء القاعدى.
لذلك، يزيد من امتصاص الكالسيوم الغذائى ويرفع مستوى الكالسيوم
فى الدم.
نظرًا لطولها الأكبر بكثير، يمتص الصائم والدقاق كمية أكبر بكثير م
ن الكالسيوم مقارنة بالاثنى عشر، ولكن هنا يتم الامتصاص عبر المسار
بين الخلايا)paracellular route(ويكون مستقلًا عن الهرمونات. معظ
م الكالسيوم الممتص يأتى من اللحوم ومنتجات الألبان. على الرغم من أ
ن الخضروات الورقية الخضراء غنية بالكالسيوم، إلا أن القليل منها يُمت
ص لأن هذه الخضروات تحتوى أيضًا على مركب الأكسالات)oxalate(
الذى يرتبط بالكالسيوم ويجعله غير متاح للامتصاص. الدهون الغذائية
تبطئ امتصاص الكالسيوم من خلال التفاعل معه لتكوين صابون الكال
سيوم الذى يُمتص بشكل ضعيف.

25.6 جرام ماء

الجهاز الهضمى هو واحد من عدة أنظمة تشارك فى توازن السوائل. ى
ستقبل الجهاز الهضمى حوالى 9 لترات من الماء فى

▶▶▶ طبق ما تعرفه
اشرح لماذا لا يساهم القناة اللمفاوية اليمنى
بأى دهون غذائية فى مجرى الدم.

الشكل 25.32 يلخص الجوانب الرئيسية لهضم وامتصاص الكربوهيدرات،
البروتينات، والدهون.

25.6د الأحماض النووية

الأحماض النووية، DNA وRNA، موجودة بكميات أصغر بكثير مقارنة
بالبوليمرات التى نوقشت سابقًا. تقوم الإنزيمات النووية)ريبونوكلياز
وديأوكسى ريبونوكلياز(فى عصارة البنكرياس بتحليلها إلى نوكليوتيدا
ت مكونة لها. ثم تقوم النوكليوزيدازات و الفوسفاتازات فى الحدود ا
لفرشية بتحليل النوكليوتيدات إلى أيونات الفوسفات، القواعد النيترو
جينية، والسكريات البسيطة)ريبوز من RNA وديأوكسى ريبوز من DN
A(. تُنقل هذه المنتجات عبر طهارة الأمعاء بواسطة ناقل
ات غشائية وتدخل الدم الشعيرى فى الزغابة.

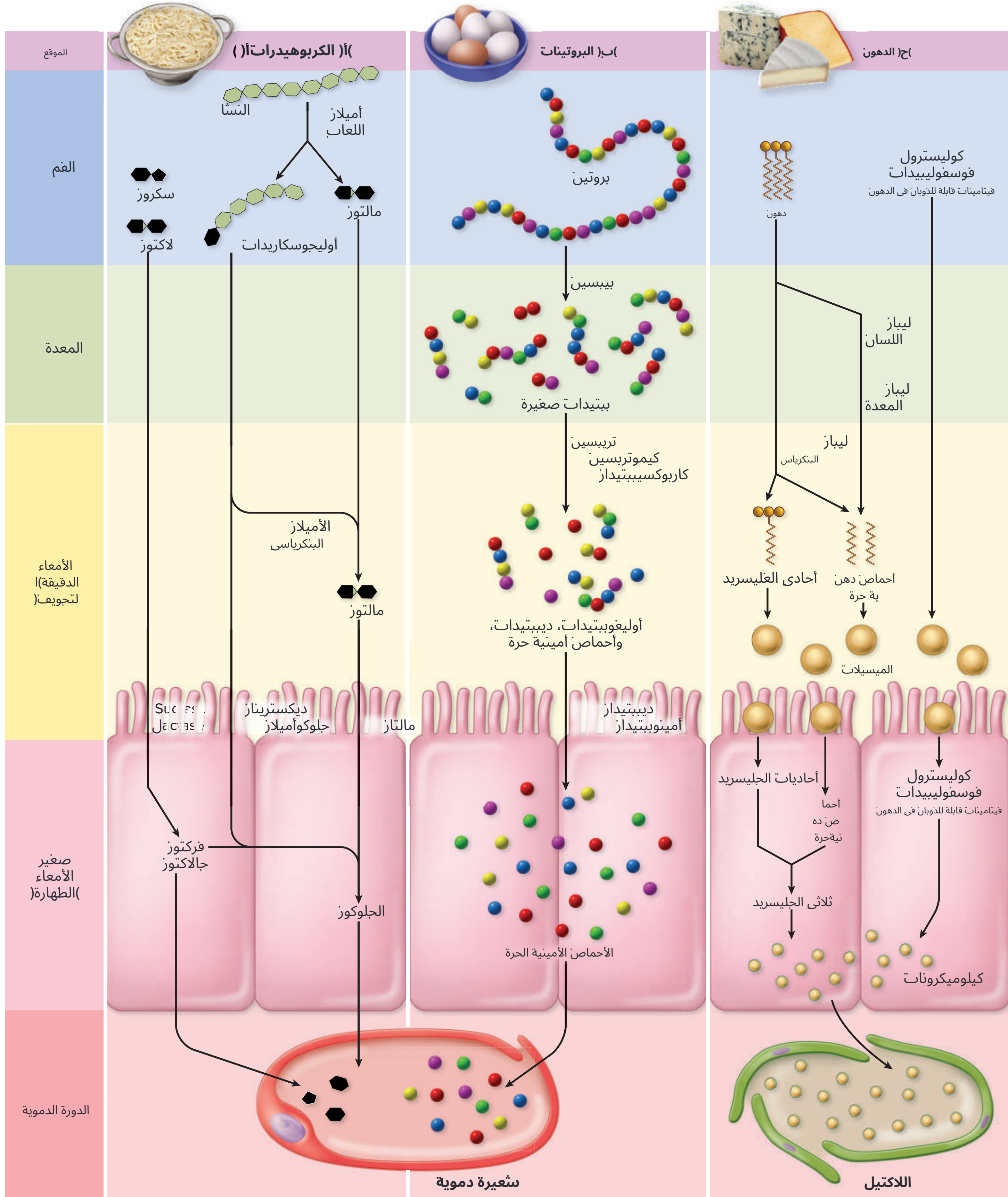
25.6هـ الفيتامينات

الفيتامينات لا تهضم، بل تمتص دون تغيير. الفيتامينات الذائبة فى ا
لدهون)A، D، E، وK(تُمتص مع الدهون الأخرى كما وُصف للتو. لذل
ك، إذا تم تناولها بدون طعام يحتوى على الدهون، مثل تناول أقراص ا
لفيتامين مع كوب ماء فقط، فإنها لا تمتص على الإطلاق بل تُطرح فى
البراز وتُهدر. الفيتامينات الذائبة فى الماء)مجموعة فيتامينات B وف
يتامين C(تمتص عن طريق الانتشار البسيط. الاستثناء هو فيتامين
B_{12} وهو جزىء كبير بشكل غير عادى يمتص بشكل ضعيف إلا إذا ار
تبط بالعامل الداخلى)IF(الذى تفرزه خلايا المعدة الجدارية.

ثم أثناء مروره عبر الأمعاء الدقيقة، يرتبط مركب $IF–B_{12}$
بمستقبلات على خلايا الامتصاص فى الجزء البعيد من اللفائفى، حيث
يتم امتصاصه عن طريق الالتقام الخلوى المعتمد على المستقبلات.

25.6و المعادن

المعادن)الإلكتروليتات(تمتص على طول كامل الأمعاء الدقيقة.
تُرافق أيونات الصوديوم فى النقل مع السكريات والأحماض الأمينية.
تُنقل أيونات الكلوريد بنشاط فى اللفائفى البعيد بواسطة مضخة
تبادلها مع أيونات البيكربونات، معكوسة تبادل الكلوريد–البيكربونات
الذى يحدث فى المعدة.
تمتص أيونات البوتاسيوم عن طريق الانتشار البسيط. ترتفع تركيزات
K^+ فى الكيموس مع امتصاص الماء، مما يخلق تدرجًا ملائمًا لامتصا
ص K^+. فى حالة الإسهال، عندما يتعطل امتصاص الماء، تبقى أيونا
ت البوتاسيوم فى الأمعاء وتُطرح مع البراز؛ لذلك، يمكن أن يؤدى الإ
سهال المزمن إلى نقص بوتاسيوم الدم. وهذا غالبًا ما يكون مميتًا فى
حالات مثل الكوليرا والإسهال المزمن عند الرضع.
يتم امتصاص معظم المعادن بمعدلات ثابتة إلى حد ما بغض ال
نظر عن الحاجة، مما يترك للكلى مهمة طرح أى فائض. الحديد هو ا
ستثناء واحد؛ حيث يتم تنظيم امتصاصه هرمونيًا. تقوم الخلايا المعو
ية)enterocytes(بربط أيونات الحديد الثنائى)Fe^{2+}(وامتصاصها ع
ن طريق النقل النشط؛ ولا يمكنها امتصاص أيونات الحديد الثلاثى)Fe^{3+}(، لكن حمض المعدة)HCl(يقلل معظم Fe^{3+} إلى Fe^{2+} القابل للام
تصاص. يتم نقل Fe^{2+} إلى السطح القاعدى للخلية وهناك يتم التقاطه
بواسطة البروتين خارج الخلية *الترانسفيرين*. ينتشر مركب الترانسفير
ين-الحديد إلى الدم ويحمل إلى أماكن مثل نخاع العظم لتكوين الهيمو
غلوبين، والأنسجة العضلية لتكوين الميوغلوبين،



الشكل 25.32 ملخص لهضم وامتصاص المغذيات العضوية الرئيسية.

عند مغادرتهم للأمعاء الدقيقة، تصل السكريات والأحماض الأمينية إلى الكبد قبل أي عضو آخر، لكن الدهون لا تصل. لماذا؟ تتبع المسار الذي يجب أن تسلكه الدهون الغذائية للوصول إلى الكبد، باستخدام المعلومات من القسم 21.1a والقسم 20.7f.

يتلقى القولون حوالى 500 مل من بقايا الطعام غير القابلة للهضم يوم يًا، ويقللها إلى حوالى 150 مل من البراز عن طريق امتصاص الماء وا لأملاح، ويطرد البراز عن طريق التبرز.

أ25.7 التشريح الكلى

يبلغ طول القولون حوالى 1.5 متر)5 أقدام(وقطره 6.5 سم)2.5 بوص ة(فى الجثة. سُمى بهذا الاسم نسبةً إلى قطره الكبير نسبيًا، وليس لط وله. ويتكون من أربعة مناطق: الأعور، والقولون، والمستقيم، وقناة ال شرج)الشكل 25.33(.

الأعور[27]هو كيس أعمى فى الربع السفلى الأيمن من البطن أسفل الحلمة اللفائفية. متصل بنهايته السفلية الزائدة الدودية، وهى أنبوب أعمى طوله من 2 إلى 7 سم. الزائدة الدودية مكتظة بالخلايا اللمفاوية وتعد مصدرًا هامًا للخلايا المناعية.

القولون هو الجزء من الأمعاء الغليظة بين الوصل اللفائفى الأعور ى والمستقيم)لا يشمل الأعور أو المستقيم أو قناة الشرج(. وينقسم إ لى مناطق الصاعد، والعرضى، والنازل، والسينى. يبدأ القولون الصاع د عند الحلمة اللفائفية ويمر صعودًا على الجانب الأيمن من تجويف ا لبطن. ويشكل انعطافًا براوية 90° عند الانعطاف القولونى الأيمن)ال كبدى(، بالقرب من الفص الأيمن للكبد، ويصبح القولون العرضى. يم ر هذا أفقيًا عبر الجزء العلوى من تجويف البطن وينعطف 90° نزولًا ع ند الانعطاف القولونى الأيسر)الطحالى(بالقرب من الطحال. هنا يص بح القولون النازل، الذى يمر نزولًا على الجانب الأيسر من تجويف ال بطن. وهكذا يشكل القولون الصاعد والعرضى والنازل إطارًا مربع الش كل بثلاثة جوانب حول الأمعاء الدقيقة؛ ومع ذلك، يختلف هذا بشكل كبير من شخص لآخر وبين المجموعات العرقية.

تجويف الحوض أضيق من تجويف البطن، لذا عند عظم الورك، ينحنى القولون نحو الوسط ويمر على طول الحفرة الحرقفية قبل أن ين حنى نزولًا عند مدخل الحوض إلى تجويف الحوض.)انظر الشكل 8.37 لمراجعة المعالم العظمية.(الجزء الناتج على شكل حرف S من القناة يسمى القولون السينى28.

)يتم الفحص البصرى لهذه المنطقة باستخدام أداة تسمى *منظار الس ينى*.(فى تجويف الحوض، يستمر القولون كـ المستقيم،[29]بطول حوا لى 15 سم. على الرغم من اسمه، فإن المستقيم ليس مستقيمًا تمامًا بل يحتوى على ثلاث انحناءات جانبية بالإضافة إلى انحناء أمامى خل فى. وله ثلاث طيات تُسمى طيات المستقيم العرضية)صمامات الم ستقيم(، التى تمكنه من الاحتفاظ بالبراز أثناء مرور الغازات.

الجزء النهائى من الأمعاء الغليظة بطول 3 سم هو قناة الشرج)ا لشكل 25.33ب(، التى تمر عبر عضلة الرافعة العانية فى قاع الحوض وتنتهى عند الشرج. هنا، تشكل الغشاء المخاطى نتوءات طولية تسم ى أعمدة الشرج مع تجاويف بينها تسمى جيوب الشرج. أثناء مرور ا لبراز عبر القناة، تضغط على الجيوب مما يسبب إفراز مخاط إضافى ل تليين القناة أثناء التبرز. تشكل الأوردة الباسورية البارزة شبكات سطح ية فى منطقة الشرج.

[27] *cec* = أعمى
[28] *sigm* = سيغما أو S؛ *oid* = يشبه
[29] *rect* = مستقيم

يومياً—0.7 لتر فى الطعام، 1.6 لتر فى الشراب، و6.7 لتر فى الإفرازات المعوية مثل اللعاب، وعصارة المعدة، والصفراء، وعصارة البنكرياس، وع صارة الأمعاء. يتم امتصاص حوالى 8 لترات من هذا بواسطة الأمعاء الد قيقة و0.8 لتر بواسطة الأمعاء الغليظة، مما يترك 0.2 لتر يتم طرحها فى البراز اليومى. يتم امتصاص الماء عن طريق الأسموز، بعد امتصاص الأ ملاح والمغذيات العضوية التى تخلق تدرجاً أسموزياً من تجويف الأمعاء إلى السائل خارج الخلوى.

الإسهال يحدث عندما تمتص الأمعاء الغليظة كمية قليلة جداً من ا لماء. يحدث هذا عندما تتهيج الأمعاء بسبب البكتيريا وتمر الفضلات ب سرعة كبيرة بحيث لا يتم إعادة الامتصاص بشكل كافٍ، أو عندما تحتوى الفضلات على تركيزات غير طبيعية من مادة مذابة مثل اللاكتوز التى تعارض الامتصاص الأسموزى للماء. الإمساك يحدث عندما تكون حركة الفضلات بطيئة، ويتم إعادة امتصاص كمية كبيرة من الماء، وتصبح ال فضلات صلبة. يمكن أن ينتج هذا عن نقص الألياف الغذائية، أو نقص ا لتمارين، أو الاضطرابات العاطفية، أو سوء استخدام الملينات على المد ى الطويل.

▶▶▶ طبق ما تعرفه

كبريتات المغنيسيوم)ملح إبسوم(تمتصه الأمعاء بشكل ضعيف. بناءً على ذلك، اشرح لماذا له تأثير ملين.

ل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

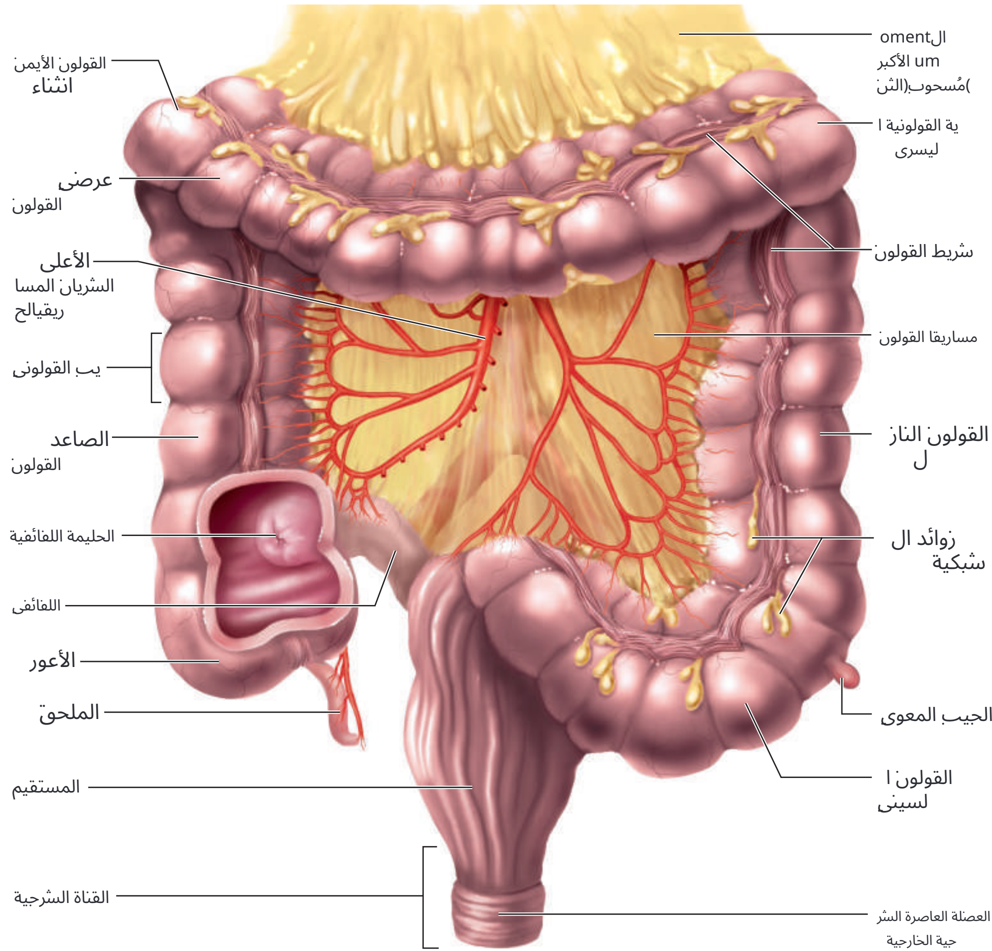
21. ما هى الفئات الثلاث الأكثر وفرة من المغذيات؟ وما هى المنتجا ت النهائية للهضم الإنزيمى لكل منها؟
22. ما هما الإنزيمان الهضميان الموجودان فى اللعاب؟ ولماذا يكو ن أحدهما أكثر نشاطاً فى المعدة مقارنة بالفم؟
23. اذكر أكبر عدد ممكن من إنزيمات فرشاة الأمعاء وحدد الركيزة أو و ظيفة كل منها.
24. اشرح الفروقات بين قطيرة الاستحلاب، الميسيل، والكيليومكرون.
25. ماذا يحدث للإنزيمات الهضمية بعد أن تؤدى وظيفتها؟ ماذا يحدث للخلايا الطلائية الميتة التى تتقشر من مخاطية الجهاز اله ضمى؟ اشرح.

25.7 الأمعاء الغليظة

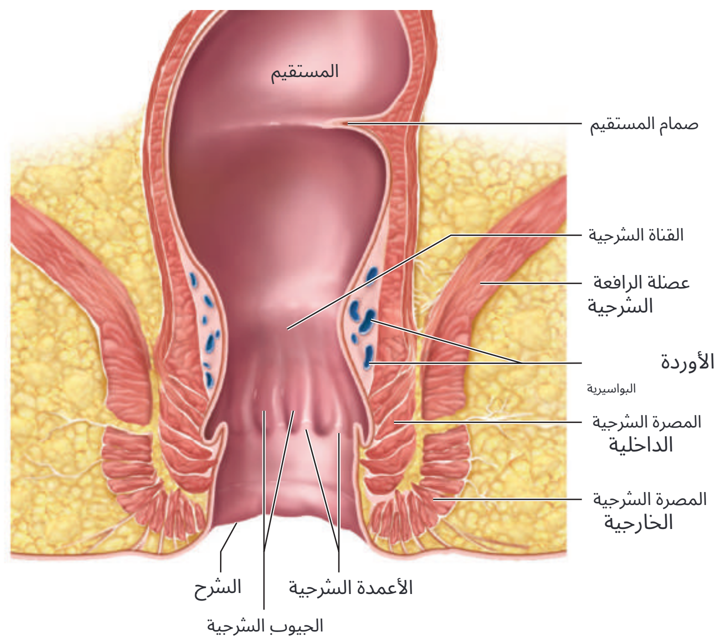
نتائج التعلم المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف التشريح العام للأمعاء الغليظة؛
ب. تلخيص وظائف الأمعاء الغليظة؛
ج. مقارنة مخاطية القولون مع مخاطية الأمعاء الدقيقة؛
d. ذكر الأهمية الفسيولوجية للبكتيريا المعوية؛
e. مناقشة أنواع الانقباضات التى تحدث فى القولون؛ و
f. شرح التحكم العصبى فى عملية الإخراج.



)أ(التشريح الكلى



)ب(القناة الشرجية

الشكل 25.33
الأمعاء الغليظة.
)أ(التشريح الكلى.
)ب(تشريح القناة الشرجية
APR.

أى من المصارين الشرجية تُسيطر عليها الجهاز العصبى الذاتى؟ وأيها تُسيطر عليها الجهاز العصبى الجسدى؟ اشرح أساس إجاباتك.

25.7ح التشريح المجهرى

الغشاء المخاطى للأمعاء الغليظة)الشكل 25.34(يحتوى على طهارة
عمودية بسيطة فى جميع المناطق باستثناء النصف السفلى من القنا
ة الشرجية، حيث يحتوى على طهارة حرشفية متعددة الطبقات غير م
تقرنة. هذه الأخيرة تقاوم الاحتكاك الناتج عن مرور البراز. لا توجد طيا
ت دائرية أو زغابات فى الأمعاء الغليظة، لكن توجد تجاويف معوية.
هى أعمق من تلك الموجودة فى الأمعاء الدقيقة ولديها كثافة أكبر من
خلايا الكأس؛ المخاط هو إفرازها الرئيسى الوحيد. تحتوى الطبقة الغ
شائية الخاصة والطبقة تحت المخاطية على وفرة من النسيج اللمفاو
ى، مما يوفر حماية من البكتيريا التى تتواجد بكثافة فى الأمعاء الغليظ
ة.

٧.٥٢د الميكروبات المعوية والغازات

يحتوى الأمعاء الغليظة على حوالى ٢٠٠ جرام وأكثر من ١٠٠٠ نوع من
البكتيريا والخمائر والفيروسات والكائنات الدقيقة الأخرى التى تُسمى
مجتمعةً الميكروبيوم المعوى أو الميكروبيوتا. حتى المعدة، على الرغم
من بيئتها الحمضية والإنزيمية القاسية، تحتوى على العديد من أنواع ا
لبكتيريا. لدينا علاقة متبادلة المنفعة مع العديد منها. نحن نوفر لهم الم
سكن والطعام بينما يزودوننا بالمغذيات من طعامنا التى لا نستطيع ا
ستخراجها بأنفسنا. على سبيل المثال، يقومون بهضم واستقلاب ال
سليلوز والبيكتين وبوليسكاريدات نباتية أخرى لا نمتلك إنزيمات هض
م لها، ونحن نمتص السكريات والأحماض الدهنية قصيرة السلسلة ال
ناتجة. وبالتالى، نحصل على تغذية أكثر من طعامنا بفضل هذه البكتير
يا مما كنا سنحصل عليه بدونها. فى الواقع، قد يحصل شخص على
سعرات حرارية أكثر من آخر من نفس الطعام بسبب اختلافات فى الم
يكروبيوتا الخاصة به. يُعتقد الآن أن تركيبة الأنواع فى الميكروبيوم لها
تأثيرات مختلفة على الأمراض الأيضية والسمنة. وقد تؤثر حتى على ا
لمزاج والسلوك.على سبيل المثال، السيروتونين هو ناقل عصبى فى ا
لدماغ مهم للمزاج)وهو هدف لبعض أدوية مضادات الاكتئاب(، لكن
٥٩٪ من السيروتونين فى الجسم يُنتج بواسطة بكتيريا أمعائنا. كما تقو
م بعض البكتيريا بتخليق فيتامينات ب وفيتامين ك، التى يمتصها ال
قولون. هذا الفيتامين ك مهم بشكل خاص لأن النظام الغذائى وحده ع
ادة لا يوفر كمية كافية لضمان تجلط دموى مناسب.

أحد المنتجات الأقل مرغوبة وأحيانًا المحرجة لهذه الميكروبات هو
الغاز المعوى. يمر حوالى ٧٠٠ مل من الغاز عبر الأمعاء الغليظة يوميًا،
مع وجود حوالى ٢٠٠ مل فى أى وقت. بعضه هو هواء مبلوع)معظمه
نيتروجين(، لكن تخمير البكتيريا للألياف الغذائية يضيف الهيدروجين
والميثان وثانى أكسيد الكربون. أكثر من نصف الغاز هو هيدروجين، وه
و قابل للاشتعال وقد عُرف أنه يشتعل أثناء العمليات الجراحية التى
تستخدم الكى الكهربائى. جميع الغازات المذكورة عديمة الرائحة، لكن ا
لنشاط الميكروبى ينتج أيضًا كميات صغيرة من ثلاثة روائح قوية — ك
بريتيد الهيدروجين واثنين من الأمينات: الإندول والسكاتول. يُمتص
بعض الغاز عبر جدار الأمعاء ويُطرد فى التنفس، لكن معظم الغاز يُطرد
شرجيًا كـ الريح — عادة حوالى ٥٠٠ إلى ٦٠٠ مل يوميًا، من ٥٢ إلى ١
٠٠ مل فى كل مرة. قد تحدث تقلصات مؤلمة عندما تمر المغذيات غ
ير المهضومة إلى القولون وتوفر وسطًا غير طبيعى للنشاط الميكروبى،
مما ينتج غازًا زائدًا — على سبيل المثال، فى حالة عدم تحمل اللاكتوز
.

الأعمدة وحول الفتحة. على عكس الأوردة فى الأطراف، فهى تفتقر إلى
الصمامات وتكون عرضة بشكل خاص للتمدد وتجمع الدم الوريدى. ا
لبواسير هى أوردة متوسعة بشكل دائم تبرز داخل القناة الشرجية أو ت
شكل انتفاخات خارج الشرج. يمكن أن تنتج عن ضعف عودة الدم الور
يدى الذى يحدث فى السمنة والحمل، لكنها تتطور لدى العديد من الأ
شخاص الذين لا يعانون من أى من هاتين الحالتين.

الطبقة العضلية الخارجية للقولون غير عادية. على الرغم من أنها
تحيط بالقولون بالكامل تمامًا كما تفعل فى الأمعاء الدقيقة، فإن أليا
فها الطولية مركزة بشكل خاص فى ثلاثة أشرطة سميكة تشبه الشريط
. يُطلق على كل شريط اسم تاينيا كولى[30])TEE-nee-ah CO-lye( )ا
لجمع، تاينياى كولى(. يؤدى توتر عضلات تاينياى كولى إلى انقباض ال
قولون طولياً ويتسبب فى بروز جدارها، مكونًا جيوبًا تسمى هاوسترا[31]
)HAW-stra؛ المفرد، هاوستروم(. تظهر الهاوسترا بوضوح فى صور
الأشعة السينية للقولون لدى المرضى الأحياء؛ لكنها ليست واضحة
فى الجثث، لأنها تختفى عندما يفقد العضلات توترها بعد الوفاة. فى ا
لمستقيم والقناة الشرجية، تشكل العضلة الطولية طبقة مستمرة وتكو
ن الهاوسترا غائبة. يتم تنظيم الشرج بواسطة مصرتين: المصرة الشرج
ية الداخلية المكونة من عضلات ملساء من الطبقة العضلية الخارجية
والمصرة الشرجية الخارجية المكونة من عضلات هيكلية من الحجاب ا
لحاجز الحوضى.

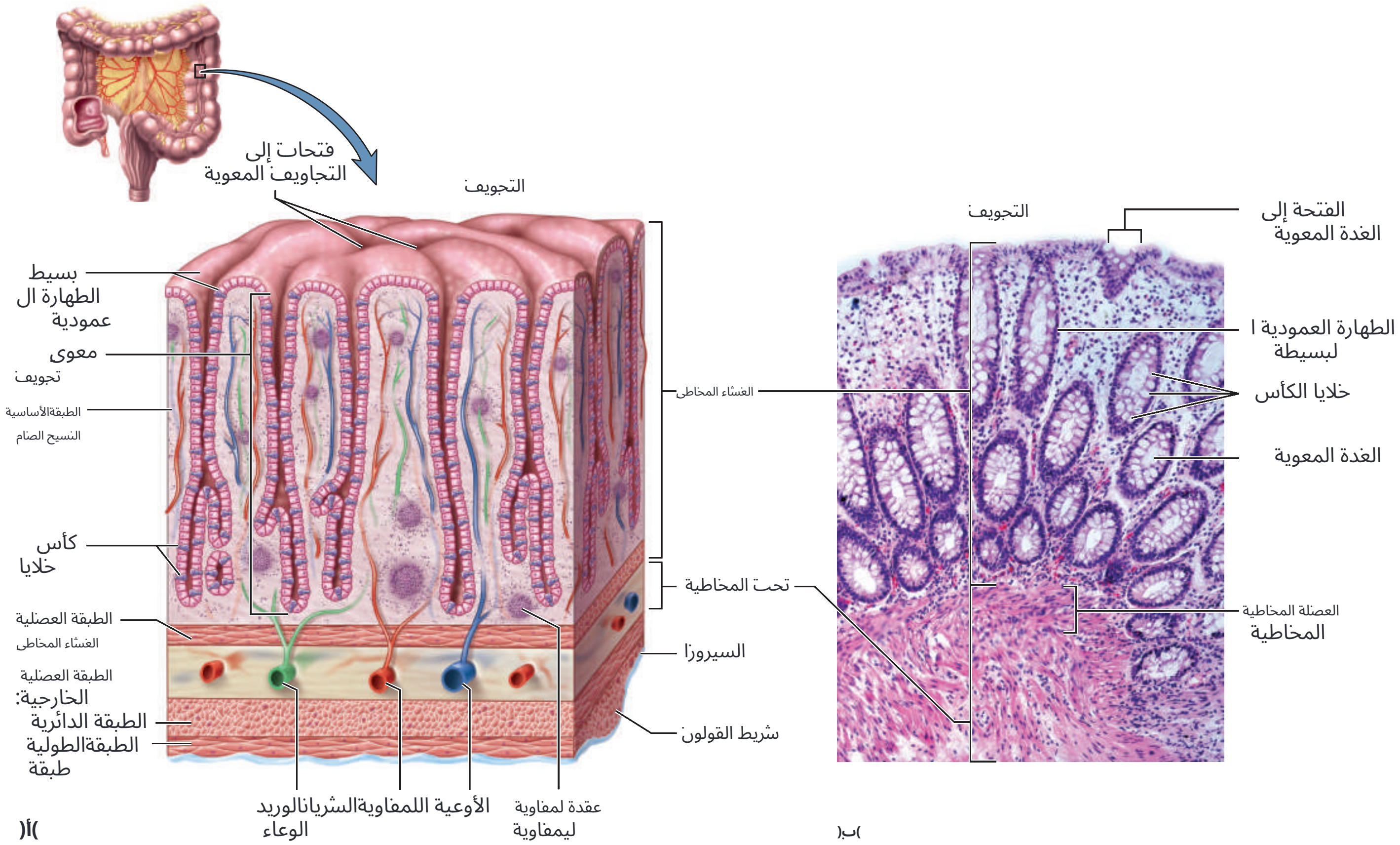
القولون الصاعد والنازل خلف الصفاق ولهما سيروزا فقط على ال
سطح الأمامى، فى حين أن القولون المستعرض والسينى محاطان با
لكامل بالسيروزا ومثبتان على جدار البطن الخلفى بواسطة المسكولو
ن. غالبًا ما يحتوى سيروزا القولون من المستعرض إلى السينى على ز
وائد دهنية)أومنتال(، وهى جيوب دهنية على شكل عصا من الصفاق
ذات وظيفة غير معروفة. فى كبار السن، غالبًا ما يظهر سطح القولون
السيروزى مرض التجويفات، وهو وجود نتوءات تسمى التجويفات. ع
لى الرغم من أنها غالبًا ما تكون بدون أعراض، يمكن أن تسبب التجوى
فات درجات مختلفة من الانزعاج المعوى، وتزيد من خطر الإصابة بـ
سرطان القولون، أو تتطور إلى التهاب القولون الأكثر خطورة المعروف
باسم التجويف الملتهب.

25.7ب الدورة الدموية

يتم تزويد الأمعاء الغليظة بواسطة شرايين وأوردة المساريق تمامًا م
ثل الأمعاء الدقيقة. تتفرع فروع الشريان المساريقى العلوى لتغذية الق
ولون الصاعد ومعظم القولون المستعرض؛ بينما يغذى الشريان الم
ساريقى السفلى بقية القولون المستعرض بالإضافة إلى القولون الناز
ل والسينى والمستقيم. تصرف الأوردة المساريقية العلوية والسفلية
نفس أجزاء الأمعاء الغليظة التى تغذيها الشرايين المسماة بالمثل وت
صرف الدم إلى نظام البوابة الكبدية)انظر الأقسام 20.7ف و20.7ز(.

---

[30] *تاينيا* = شريط؛ *كولى* = من القولون
[31] *هاوستر* = للسحب، مثل خيط الحقيبة



الشكل 25.34 التشريح المجهرى للقولون.)أ(قطعة من النسيج تُظهر جميع الطبقات من الغشاء المخاطى)أعلى(إلى الغشاء المصلى)أسفل(.
)ب(صورة ضوئية للغشاء المخاطى.

ب: خوسيه لويس كالفو/Shutterstock

25.7f التبرز

يحفز تمدد المستقيم منعكسات التبرز، والتى تسبب الشعور بالرغبة فى التبرز الذى غالبًا ما يُشعر به بعد الوجبة مباشرة. قد تجد من المفيد مقارنة المناقشة التالية لمنعكسات التبرز مع الآليات المماثلة التى تتحكم فى التبول)انظر الشكل 23.25(. إن قابلية التنبؤ بمنعكسات التبرز مفيدة فى تدريب الحيوانات الأليفة فى المنزل وتدريب الأطفال على استخدام المرحاض. تشمل العملية العامة منعكسين:

1. المنعكس الداخلى للتبرز يتم بوساطة شبكة الأعصاب العضلية)plexus myentericus(بالكامل. تنتقل إشارات التمدد عبر الشبكة إلى العضلات فى القولون النازل والقولون السينى والمستقيم. هذا ينشط موجة دودية تدفع البراز إلى الأسفل، ويُرخى المصرة الشرجية الداخلية. ومع ذلك، فإن هذا المنعكس ضعيف نسبيًا وعادة ما يتطلب التعاون مع المنعكس التالى.

2. **المنعكس اللاودى للتبرز هو منعكس شوكى.** الأحداث الرئيسية له)الشكل 25.35(هى أن إشارات التمدد تنتقل إلى الحبل الشوكى؛ وتعود الإشارات الحركية عبر الأعصاب الحوضية؛ وتعمل هذه الإشارات على تعزيز الحركات الدودية فى القولون النازل والقولون السينى والمستقيم بينما تُرخى المصرة الشرجية الداخلية.

٧.٥٢هـ الامتصاص والحركة

تستغرق الأمعاء الغليظة من ٦٣ إلى ٨٤ ساعة لتحويل بقايا الوجبة إلى براز، حيث تقضى البقايا أكبر وقت)حوالى ٤٢ ساعة(فى القولون المستعرض. لا يغير القولون البقايا كيميائيًا، لكنه يعيد امتصاص الماء والإلكتروليتات)خاصة NaCl(منها. يتكون البراز عادة من حوالى ٧٥٪ ماء و٢٥٪ مواد صلبة.

تشكل المواد الصلبة حوالى ٣٠٪ بكتيريا، ٣٠٪ ألياف غذائية غير مهضومة، ١٠٪ إلى ٢٠٪ دهون، وكميات أصغر من البروتين، خلايا طلائية متقشرة، أملاح، مخاط، وإفرازات هضمية أخرى. الدهون ليست من الطعام الغذائى بل من البكتيريا والخلايا الطلائية المتحللة.

أكثر أنواع حركة القولون شيوعًا هو نوع من التقسيم يُسمى تقلصات الهسترا، التى تحدث كل حوالى ٣٠ دقيقة. يؤدى تمدد الهسترا بالبراز إلى تحفيزها على الانقباض. هذا يعجن ويخلط البقايا، ويعزز امتصاص الماء والملح، وينقل البقايا إلى هسترا أخرى أبعد.

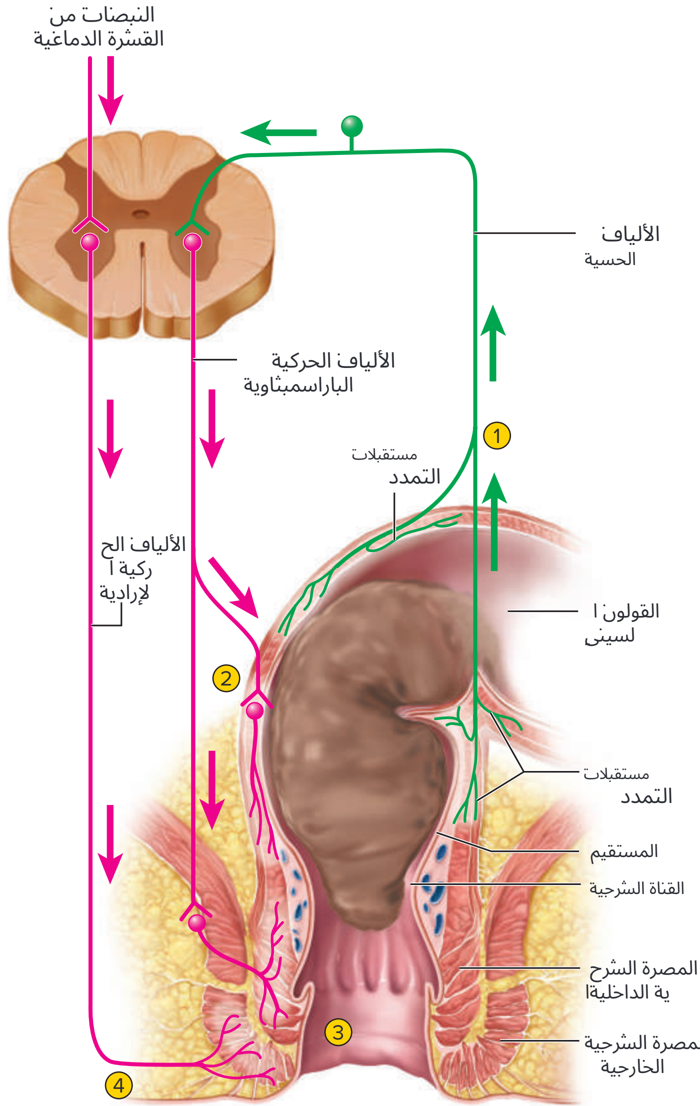
تحدث الانقباضات الأقوى المسماة الحركات الجماعية مرة إلى ثلاث مرات فى اليوم. تستمر حوالى 15 دقيقة وتحرك البقايا عدة سنتيمترات فى كل مرة. غالبًا ما يتم تحفيزها بواسطة المنعكس المعدى القولونى و المنعكس الاثنى عشرى القولونى، حيث يؤدى امتلاء المعدة والاثنى عشر إلى تحفيز حركة القولون. تحدث الحركات الجماعية خاصة فى القولون المستعرض إلى القولون السينى، غالبًا خلال ساعة بعد الإفطار، حيث تحرك البراز الذى تراكم ووسع القولون طوال الليل.

هذه المنعكسات لا إرادية وهي الوسيلة الوحيدة للتحكم في التبرز عند الرضع وبعض الأشخاص الذين يعانون من قطع في الحبل الشوكي. و مع ذلك، فإن المصرة الشرجية الخارجية، مثل المصرة الإحليلية الخار جية التي تتحكم في التبول، تخضع للتحكم الإرادي، مما يمكن الشخ ص من تقييد التبرز في الظروف المناسبة. كما يساعد الاحتفاظ الإراد ي بالبراز عضلة البوبوريكتاليس، التي تحيط بالمستقيم مثل الحزام و تخلق زاوية شرجية مستقيمية حادة تمنع مرور البراز. يحدث التبرز عاد ة فقط عندما تسترخي المصرة الشرجية الخارجية وعضلة البوبوريكتال يس إراديًا. ثم يستقيم الانحناء في المستقيم وتفتح المصرة للسماح للبراز بالخروج. كما يساعد التبرز المناورة الإرادية لفالسالفا، حيث يتم حبس النفس وانقباض عضلات البطن لزيادة الضغط البطني، وضغط المستقيم، وعصر البراز للخروج منه. يمكن لهذه المناورة أيضًا أن تح فز منعكس التبرز عن طريق دفع البراز من القولون النازل إلى المستق يم.تتحكم إشارات مثبطة من جذع الدماغ معًا في المصرة الشرجية الخ ارجية والمصرة الإحليلية الخارجية، لذلك عند تحرير هذا التثبيط، عادةً ما يصاحب التبرز التبول. بعض إصابات وأمراض الحبل الشوكي تلغي التحكم الإرادي في المصرة الشرجية الخارجية.

عدم القدرة الناتجة على الاحتفاظ بالبراز إراديًا يُسمى سلس البراز.

إذا تم كبح الرغبة في التبرز، تتوقف الانقباضات خلال دقائق قلي لة ويسترخي المستقيم. تتكرر منعكسات التبرز بعد عدة ساعات أو ع ندما تدفع حركة جماعية أخرى المزيد من البراز إلى المستقيم.

تُناقش تأثيرات التقدم في العمر على الجهاز الهضمي في الفصل 29. أكثر اضطرابات الجهاز الهضمي تهديدًا للحياة في سن الشيخوخة هو سرطان القولون والمستقيم (انظر التعمق 25.5). وتوصف اضطرا بات أخرى لهذا النظام في الجدول 25.3.



1 البراز يمدد المستقيم ويحفز مستقبلات التمدد، التي تنقل الإشارات إلى الحبل الشوكي.

2 انعكاس شوكي يحفز انقباض المستقيم.

3 الانعكاس الشوكي يرخّي أيضًا المصرة الشرجية الداخلية.

4 الإشارات من الدماغ تمنع التبرز غير المناسب من خلال إبقا ء المصرة الشرجية الخارجية منقبضة.
يحدث التبرز فقط إذا ارتخت هذه المصرة أيضًا.

الشكل 25.35 التحكم العصبي في التبرز.

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

26. كيف يختلف الغشاء المخاطي في الأمعاء الغليظة عن ذلك في الأمعاء الدقيقة؟ كيف يختلف العضلة الخارجية (muscular is externa)؟

27. اذكر ووصِف بإيجاز نوعين من الانقباضات التي تحدث في القولو ن ولا تحدث في أي مكان آخر في القناة الهضمية.

28. وصف المنعكسات التي تسبب التبرز عند الرضيع.
وصف الضوابط العصبية الإضافية التي تعمل بعد تدريب ا ستخدام المرحاض.

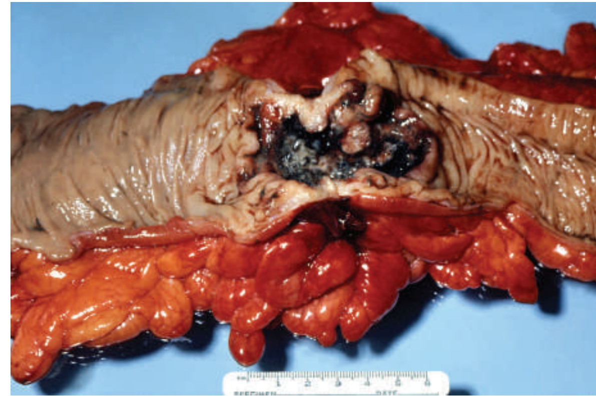


نظرة أعمق 25.5

تطبيق سريري

سرطان القولون والمستقيم

أفضل وسائل الوقاية من سرطان القولون والمستقيم هى الفحوصات الدورية والكشف المبكر. أكثر طرق الفحص شيوعًا هى فحوصات البراز للكشف عن آثار الدم غير المرئى)الدم الخفى(؛ تنظير السينى)الفحص التنظيرى للمستقيم والقولون السينى(؛ و تنظير القولون)التنظير الداخلى للقولون بأكمله(. يتم إزالة السلائل التى تُلاحظ أثناء التنظير قبل أن تتحول إلى خبيثة. تختلف تواتر وبدء هذه الفحوصات حسب الرأى الطبى، لكن التوصية الشائعة هى إجراء فحوصات البراز سنويًا)تتوفر مجموعات أخذ عينات منزلية عبر البريد لهذا الغرض(، وتنظير السينى كل 5 سنوات، وتنظير القولون كل 10 سنوات، بدءًا من سن 50.



الشكل 25.36 سرطان القولون. المنطقة السوداء المتآكلة هى الورم. الأجسام الحمراء هى الزوائد الدهنية)الملحقة(للقولون.

الدكتور إدوين ب. إوينغ الابن / CDC

سرطان القولون والمستقيم)سرطان القولون والمستقيم(هو ثانى أكثر أسباب الوفاة بسبب السرطان شيوعًا فى الولايات المتحدة)الشكل 25.36(. عادةً ما ينشأ من خلايا الكأس المخاطية فى سليل القولون، وإذا تم إهماله، فإنه ينتشر بسهولة إلى أعضاء بعيدة تشمل الكبد والرئتين والدماغ. تشمل العلامات المبكرة لسرطان القولون والمستقيم الإسهال المستمر، الإمساك، وألم البطن؛ وجود دم فى البراز؛ والضعف، التعب، وفقدان الوزن.

بعض عوامل الخطر لسرطان القولون والمستقيم يمكن تجنبها: التدخين، الإفراط فى تناول الكحول، قلة النشاط البدنى، والسمنة. العلاقة مع النظام الغذائى غير مؤكدة، لكن الأنظمة الغذائية المنخفضة فى الألياف من الفواكه والخضروات والعالية فى اللحوم الحمراء، اللحوم المحروقة، واللحوم المصنعة مثل النقانق واللحوم المستخدمة فى السندويشات، تم الإشارة إليها كعوامل خطر محتملة. عوامل أخرى لا يمكن تجنبها. الأشخاص من أصول أفريقية ويهود أشكناز والأشخاص الذين لديهم تاريخ عائلى لسرطان القولون والمستقيم معرضون لخطر أعلى من المتوسط. كما يرتبط أيضًا بتاريخ من سلائل القولون، مرض الأمعاء الالتهابى)IBS(، والتجوفات المعوية)التجويفات(. وهو أكثر شيوعًا بين الأشخاص الأثرياء مقارنة بالفقراء، ربما بسبب الاختيارات الغذائية وأنماط الحياة الأخرى.

جميع حالات سرطان القولون والمستقيم وراثية، لكن نسبة صغيرة فقط من الحالات تكون وراثية - بمعنى آخر، نادرًا ما ينتقل من الوالد إلى النسل، ولكنه ينشأ تقريبًا دائمًا من طفرات جديدة خلال حياة الفرد. حوالى 85% من الحالات تشمل طفرة فى جين كابح الورم *p53* على الكروموسوم 17)انظر التعمق 4.3(، لكن هناك حاجة إلى طفرات إضافية فى كروموسومات أخرى للتقدم إلى الخباثة. لهذا السبب، يتطور سرطان القولون والمستقيم ببطء وعادة ما يظهر بعد سن 50، لكنه يمكن أن يحدث فى أى عمر. معدل الوفيات بسبب سرطان القولون والمستقيم يتناقص عالميًا بسبب زيادة الوعى، وتحسين الفحوصات، والعلاج الأفضل؛ ومع ذلك، يرتفع بين الأشخاص تحت سن 50 لأسباب غير معروفة. يُشتبه فى أن الاتجاهات المتزايدة للسمنة، والسلوك الخامل، والنظام الغذائى السيئ هى عوامل مساهمة.

الجدول 25.3	بعض أمراض الجهاز الهضمى
التهاب البنكرياس الحاد	التهاب شديد فى البنكرياس ربما ناتج عن صدمة تؤدى إلى تسرب إنزيمات البنكرياس إلى النسيج، حيث تقوم بهضم الأنسجة وتسبب الالتهاب والنزيف.
التهاب الزائدة الدودية	التهاب فى الزائدة الدودية، مع تورم وألم، وأحيانًا غنغرينا، وثقب، والتهاب الصفاق.
الأورام السرطانية	أورام خبيثة خاصة فى المرىء والمعدة والقولون والكبد والبنكرياس، حيث يُعد سرطان القولون والمستقيم والبنكرياس من الأسباب الرئيسية لوفيات السرطان فى الولايات المتحدة
مرض كرون	التهاب فى الأمعاء الدقيقة والغليظة، مشابه لالتهاب القولون التقرحى. يسبب آفات حبيبية وتليف فى الأمعاء، وإسهال، وألم فى أسفل البطن. له أسباب بيئية ووراثية. إلى جانب التهاب القولون التقرحى)أدناه(، يُطلق عليه غالبًا مرض الأمعاء الالتهابى)IBD(.
عسر البلع	صعوبة فى البلع. يمكن أن تنتج عن انسدادات فى المرىء)أورام، تضييقات(أو ضعف فى الحركات الدودية)بسبب اضطرابات عصبية عضلية(.
مرض حساسية الغلوتين المعوى	كان يُسمى سابقًامرض الزُلّاقأومرض السيلياك.ضمور الزغابات المعوية الذى يُحفّز لدى الأفراد المعرضين وراثيًا بواسطةالغلوتين، وهو المكون البروتينى للحبوب. يبدأ عادةً فى مرحلة الطفولة المبكرة أو الرضاعة. يؤدى إلى سوء امتصاص شديد لمعظم المغذيات، مما يسبب إسهالًا مائيًا أو دهنيًا، وألمًا فى البطن، ونموًا متناقصًا، ومشاكل متعددة مرتبطة بنقص التغذية. يمكن علاجه بإدارة غذائية مكثفة.
الفتق الحجابى	بروز جزء من المعدة إلى التجويف الصدرى، حيث قد يتسبب الضغط السلبى فى الصدر فى انتفاخه. غالبًا ما يسبب ارتجاع المرىء المعدى)خاصة عندما يكون الشخص مستلقيًا(والتهاب المرىء)التهاب المرىء(.
التهاب القولون التقرحى	التهاب مزمن يؤدى إلى تقرحات فى الأمعاء الغليظة، خاصة فى القولون السينى والمستقيم. الأسباب الدقيقة غير معروفة جيدًا لكنها تبدو وراثية وبيئية معًا. انظر أيضًا الملاحظة فى مرض كرون)أعلاه(.

يمكنك العثور على اضطرابات أخرى فى الجهاز الهضمى موصوفة فى الأماكن التالية:

ارتفاع ضغط البوابةوالاستسقاءفى نظرة أعمق 20.4؛تسوس الأسنان، التهاب اللثة،وأمراض اللثة الأخرىفى نظرة أعمق 25.1؛ضرس العقل المدفونفى القسم 25.2أ؛ حرقة المعدةفى القسم 25.2هـ؛القرحة الهضميةفى نظرة أعمق 25.2؛حصى المرارةفى نظرة أعمق 25.3؛عدم تحمل اللاكتوزفينظرة أعمق 25.4؛التجويفات المعويةوالتهاب التجويفاتفى القسم 25.7أ؛سرطان القولون والمستقيمفى نظرة أعمق 25.5؛الإمساكوالإسهالفى القسم 25.6ز؛البواسيرفى القسم 25.7أ؛والتهاب الكبدوتليف الكبدفى نظرة أعمق 26.3.



رؤية أعمق 25.6

التاريخ الطبى

الرجل ذو الثقب فى معدته

ربما كانت أشهر حادثة فى تاريخ فسيولوجيا الهضم قد بدأت بحادث خطير فى عام 1822 فى جزيرة ماكيناك فى شمال ميشيغان. أليكسيس سانت مارتن، رحّال ك ندى يبلغ من العمر 28 عامًا)الشكل 25.37(، كان واقفًا خارج مركز تجارى عندما أ صيب بطريق الخطأ برصاصة بندقية من مسافة 3 أقدام. تم استدعاء طبيب الجي ش على الحدود فى حصن ماكيناك، ويليام بومونت، لفحص سانت مارتن. كما ك تب بومونت لاحقًا، "جزء من الرئة بحجم بيضة ديك رومى" كان بارزًا من خلال لحم سانت مارتن الممزق والمحترق. أسفله كان جزء من المعدة به ثقب "كبير بما يك فى لاستيعاب إصبعى". بذل بومونت قصارى جهده لإزالة شظايا العظام وتضميد الجرح، رغم أنه لم يتوقع أن ينجو سانت مارتن.

من المدهش أنه عاش. على مدى عدة أشهر، أخرجت الجرح قطعًا من العظم و الغضروف وطلقات الرصاص وحشوة الرصاصة. ومع شفاء الجرح، بقى ناسور)ثق ب(فى المعدة، كبير جدًا لدرجة أن بومون اضطر إلى تغطيته بضمادة لمنع خروج ا لطعام. ظل الفتحة مفتوحة، مغطاة فقط بطية جلدية فضفاضة، لبقية حياة سانت مارتن. نمت لاحقًا طية من النسيج فوق الناسور، لكنها كانت تُفتح بسهولة. بعد ع ام، كان سانت مارتن لا يزال ضعيفًا. قررت سلطات المدينة أنها لم تعد قادرة على دعمه من الأموال العامة وأرادت نقله لمسافة 1500 ميل إلى وطنه. ومع ذلك، كا ن بومون مفعمًا بشعور عميق بالقدر. لم يكن معروفًا الكثير عن الهضم، ورأى فى ا لحادثة فرصة فريدة للتعلم. استضاف سانت مارتن على نفقته الخاصة وأجرى عليه 238 تجربة على مدار عدة سنوات. لم يحضر بومون مدرسة طبية قط، ولم يكن لد يه فكرة كبيرة عن كيفية عمل العلماء، لكنه أثبت أنه مجرب فطن. تحت ظروف ح دودية بدائية ومع معدات شبه معدومة، اكتشف العديد من الحقائق الأساسية فى فسيولوجيا المعدة التى نوقشت فى هذا الفصل.

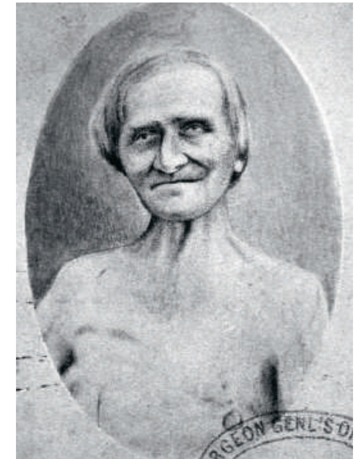
كتب بومونت: "يمكننى النظر مباشرة إلى تجويف المعدة، ومراقبة حركتها، ور ؤية عملية الهضم تقريبًا". "يمكننى صب الماء باستخدام قمع وإدخال الطعام بملع قة، وسحبهما مرة أخرى باستخدام مصاصة." وضع قطع اللحم على خيط داخل الم عدة وأزالها كل ساعة للفحص. أرسل قوارير من العصارة المعدية إلى كبار الكيميائ يين فى أمريكا وأوروبا، الذين لم يستطيعوا سوى الإبلاغ عن احتوائها على حمض ا لهيدروكلوريك. أثبت أن الهضم يتطلب HCl ويمكن أن يحدث حتى خارج المعدة، لكنه وجد أن HCl وحده لا يهضم اللحم؛ يجب أن تحتوى العصارة المعدية على مكو ن هضمى آخر. حدد ثيودور شوان، أحد مؤسسى نظرية الخلية، هذا المكون على أن ه بيبسين. كما أظهر بومونت أن العصارة المعدية تفرز فقط استجابة للطعام؛ ولم تتراكم بين الوجبات كما كان يُعتقد سابقًا. ونفى فكرة أن الجوع ناتج عن احتكاك ج دران المعدة الفارغة ببعضها البعض.

الآن، بعد أن أصبح غير قادر على السفر فى البرية، وافق سانت مارتن على الم شاركة فى تجارب بومونت مقابل الإقامة والطعام—على الرغم من شعوره بالعجز و الإذلال جراء ذلك كله. كان صيادو الفراء يسخرون منه بوصفه "الرجل ذو الثقب ف ى معدته"، وكان يتوق للعودة إلى عمله فى البرية. كان لديه زوجة وابنة فى كندا ناد رًا ما كان يراهم، وكان يهرب مرارًا للانضمام إليهم. كان

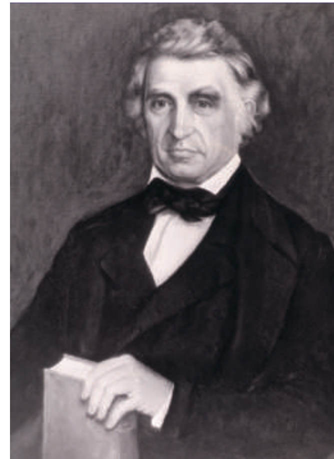
غادر مرة لمدة 4 سنوات قبل أن تجبره الفقر على الاستسلام لإغراءات بومونت الم الية للعودة. كان بومونت يحتقر سُكر سانت مارتن وسبّه، وكان غير حساس تمامًا لإحراجه وعدم راحته من التجارب. ومع ذلك، مكنه مزاج سانت مارتن من إجراء أو ل ملاحظات مباشرة على العلاقة بين العاطفة والهضم. خلال نوبات الغضب العاط فية لسانت مارتن، لاحظ بومونت أن الهضم كان قليلًا—كما نعلم الآن، فإن الجهاز العصبى الودى يثبط النشاط الهضمى.

نشر بومونت كتابًا فى عام 1833 وضع أساس علم وظائف المعدة الحديث وال تغذية. وقد استُقبل بحماس من قبل المجتمع الطبى ولم يكن له مثيل حتى أجرى عالم الفسيولوجيا الروسى إيفان بافلوف)1849–1936(تجاربه الشهيرة على اله ضم فى الحيوانات. وبناءً على الأساليب التى ابتكرها بومونت، حصل بافلوف على جائزة نوبل فى علم وظائف الأعضاء أو الطب عام 1904.

فى عام 1853، انزلق بومونت على الجليد، وتعرض لضربة فى قاعدة جمجمته، وتوفى بعد بضعة أسابيع. استمر سانت مارتن فى جولات المدارس الطبية وخضع لتجارب من قبل فسيولوجيين آخرين، الذين كانت استنتاجاتهم غالبًا أقل دقة من استنتاجات بومونت. على سبيل المثال، نسب بعضهم الهضم الكيميائى إلى حم ض اللاكتيك بدلاً من حمض الهيدروكلوريك. عاش سانت مارتن فى فقر مدقع فى كوخ صغير مع زوجته وعدة أطفال، وتوفى بعد 28 عامًا من وفاة بومونت. وبحلول ذلك الوقت، كان يعانى من الخرف وكان يعتقد أنه ذهب إلى باريس، حيث كان بومونت يعده كثيرًا بأخذه معه.



أليكسى سانت مارتن)1794–1880(



ويليام بومونت)1785–1853(

الشكل 25.37 الطبيب والمريض فى دراسة رائدة عن الهضم. معايير الأخلاقيات العلمية الحالية كانت ستحظر تجارب بومونت على سانت مارتن.

)كلاهما(: المكتبة الوطنية للطب

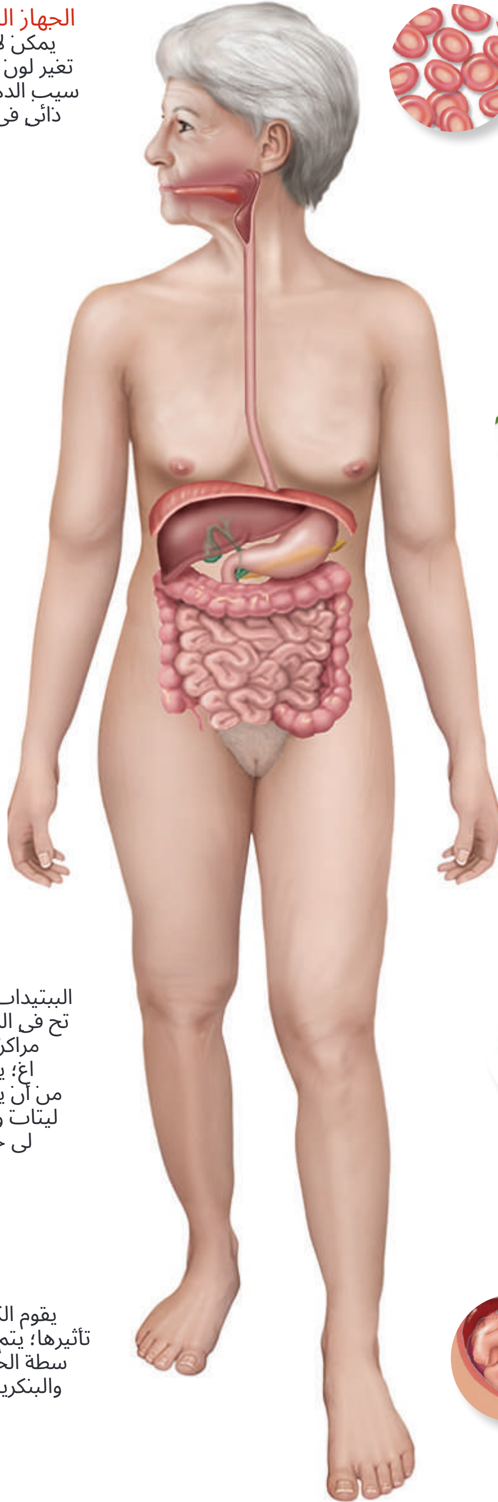
اتصالات النظام

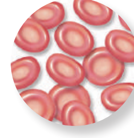


تأثيرات الجهاز الهضمى على أنظمة الأعضاء الأخرى

جميع الأنظمة

يوفر الهضم لجميع الأنظمة العناصر الغذائية بشكل يمكن استخدامه فى الأيض الخلوى ونمو وصيانة الأنسجة.

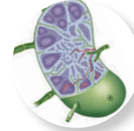




الجهاز الدورى
يدعم امتصاص سوائل الأمعاء حجم الد
م؛ يقوم الكبد بتفكيك الهيم من كريات الد
م الحمراء الميتة؛ يصنع الكبد الألبومين، ومع
طم عوامل تجلط الدم، وبروتينات البلازما ا
لأخرى؛ يثبت الكبد مستوى الجلوكوز
فى الدم؛ يخزن الكبد والطهارة المعوية
الحديد ويطلقانه حسب الحاجة لتكوين اله
يموغلوبين؛ يفرز الكبد الإريثروبويتين الذى
يحفز إنتاج كريات الدم الحمراء.



الجهاز الجلدى
يمكن لأمراض الكبد أن تسبب
تغير لون الجلد إلى اليرقان؛ يتم تر
سيب الدهون الزائدة فى النظام الغ
ذائى فى الأنسجة الدهنية الجلد
ية وتحت الجلد.



الجهاز اللمفاوى والمناعى
الأمعاء الدقيقة هى مصدر الدهون ال
تى تنقلها الأوعية اللمفاوية؛ الغشاء الم
خاطى المعوى هو مصدر رئيسى للخ
لايا اللمفاوية؛ الحمض، والإنزيمات،
واللايسوزيم توفر مناعة فطرية
ضد الممرضات التى يتم تناولها؛ يك
تسب الرضع مناعة سلبية عن
طريق امتصاص IgA المعوى م
ن حليب الأم.



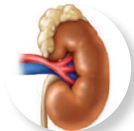
الجهاز الهيكلى
يعتمد ترسيب العظام و
صيانتها على امتصاص الكا
لسيوم والفوسفات من ق
بل الأمعاء الدقيقة.



الجهاز التنفسى
انقباض عضلات ال
بطن يدفع المعدة نحو
الحجاب الحاجز ويُساع
د فى الزفير القسرى.



الجهاز العضلى
يساعد الكبد على التعافى من إره
اق العضلات عن طريق ا
ستقلاب حمض اللاكتيك ا
لذى تنتجه العضلات؛ يقوم ال
كبد والطهارة المعوية بتخ
زين الحديد وإطلاقه حسب ا
لحاجة لتكوين الميوغلوبين.



الجهاز البولى
يصنع الكبد اليوريا التى تفرزها الك
لى؛ تساهم هذه اليوريا أيضًا فى ا
لتدرج الاسموزى الذى يمكن ال
كلى من تركيز البول؛ تكمل الأمعاء
الكلى فى إعادة امتصاص الما
ء والإلكتروليتات.



الجهاز العصبى
الببتيدات المعوية الدماغية التى تُن
تج فى المعدة والأمعاء الدقيقة تحفز
مراكز التحكم فى الشهية فى الدم
اغ؛ يمكن للقيء أو الإسهال المز
من أن يسبب اختلالات فى الإلكترو
ليتات ودرجة الحموضة مما يؤدى إ
لى خلل فى وظيفة الجهاز الع
صبى.



الجهاز التناسلى
يوفر الهضم المغذيات
لنمو الجنين؛ تعتمد بعض
الجوانب فى تخصيب البويضة
على الكالسيوم الممتص
من الأمعاء الدقيقة.



الجهاز الصماء
يقوم الكبد بتحليل الهرمونات ويحد من
تأثيرها؛ يتم إنتاج العديد من الهرمونات بوا
سطة الخلايا الصماء فى المعدة والأمعاء
والبنكرياس والكبد.

دليل الدراسة

قيّم نتائج تعلمك

لاختبار معرفتك، ناقش المواضيع التالية مع شريك دراستك أو كتابةً، ويفضل أن يكون ذلك من الذاكرة.

25.1 التشريح العام وعمليات الهضم

1. ثلاث وظائف للجهاز الهضمي وخمسة مراحل يتم تنفيذها خلالها
2. الفرق بين القناة الهضمية والأعضاء الملحقة بالجهاز الهضمي؛ والأعضاء التي تنتمي إلى كل فئة
3. طبقات الأنسجة النموذجية لمعظم مناطق القناة الهضمية
4. وظائف الضفيرة المعوية؛ وتقسيمها الفرعيين، ومواقعها، ووظائفها الخاصة
5. وظائف المساريق وعلاقتها بالأعضاء الهضمية البطنية
6. الهرمونات، والباراكرينات، والمنعكسات الحشوية التي تنظم الحركة والإفراز في القناة الهضمية

25.2 الفم حتى المريء

1. سبع وظائف للتجويف الفموي
2. الحدود التشريحية للفم؛ التغيرات في طهارة الغشاء المخاطي للفم؛ وجميع أعضاء الجهاز الهضمي الموجودة فيه
3. تشريح الخدين والشفاه؛ المناطق الثلاث للشفاه
4. تشريح ووظائف اللسان؛ ما يشكل الحدود بين جسم وجذر اللسان؛ عضلاته الداخلية والخارجية؛ الغدد اللسانية واللوزتين اللسانيتين
5. تشريح الحنك الصلب واللين؛ القوسان اللذان يحددان الحدود بين تجويف الفم والبلعوم
6. تركيب السن النموذجي وأنسجة اللثة؛ أنواع الأسنان الأربعة وعدد وموقع كل منها؛ طريقة استبدال الأسنان اللبنية بالأسنان الدائمة؛ ووظائف المضغ
7. ست وظائف للعاب؛ تركيب ودرجة الحموضة؛ علم الأنسجة العام لغدد اللعاب؛ أسماء ووظائف الغدد اللعابية الداخلية؛ الأزواج الثلاثة من الغدد اللعابية الخارجية؛ وكيف ينظم الجهاز العصبي إفراز اللعاب
8. تشريح البلعوم؛ عضلات ضاغطة البلعوم والمصرة المريئية العلوية، ووظائف هذه العضلات
9. التشريح العام وعلم الأنسجة للمريء؛ توزيع العضلات الهيكلية والملساء في جدار المريء؛ موقع ووظيفة الغدد المريئية؛ الفتحة القلبية والمصرة المريئية السفلية
10. فسيولوجيا البلع؛ مركز البلع والأعصاب القحفية المشاركة في العملية؛ ما يحدث في مرحلتي الفم والبلعوم المريئي من البلع؛ كيف يتم التحكم في التمعج؛ وإلى أي مدى يعتمد البلع على التمعج أو يحدث بشكل مستقل عنه

25.3 المعدة

1. تشريح ووظائف المعدة؛ الميزات التي تحدد بدايتها ونهايتها؛ وحجم المعدة الفارغة وسعتها الكاملة
2. تعصيب المعدة؛ وترويتها الدموية وعلاقتها بالجهاز البابي الكبدي
3. تركيب الغشاء المخاطي للمعدة بما في ذلك الحفر المعدية؛ والغدد التي تفتح فيها؛ والاختلافات في التوزيع المكاني ووظائف الغدد المعدية، والغدد القلبية، والغدد البوابية؛ وأنواع الخلايا الخمسة في هذه الغدد ووظائفها الخاصة
4. تركيب العصارة المعدية
5. الخلايا التي تفرز حمض الهيدروكلوريك، وكيف تفرزه، ووظائف الحمض
6. الفرق بين الزيموجين والإنزيم النشط
7. مصدر البيبسينوجين؛ وكيف يتحول إلى البيبسين؛ ووظيفة البيبسين
8. مصدر ووظيفة الليباز المعدي
9. مصدر ووظيفة العامل الداخلي؛ تأثير نقص إفراز العامل الداخلي؛ وكيفية علاج نقص العامل الداخلي
10. الهرمونات والإفرازات المحلية التي تنظم وظيفة الجهاز الهضمي؛ ولماذا يُطلق على بعض هذه الببتيدات اسم ببتيدات الأمعاء-الدماغ
11. طبيعة ووظائف استجابة الاستقبال-الاسترخاء والحركة الدودية في المعدة؛ والسبب في مرور كمية قليلة جدًا من الكيموس إلى الاثنى عشر في كل مرة
12. درجة الهضم التي تحدث في المعدة؛ ما يتم امتصاصه بواسطة المعدة وما لا يتم امتصاصه
13. كيف تحمي المعدة من حمضها وإنزيماتها الخاصة
14. كيف يتم التحكم في نشاط المعدة؛ آليات التنظيم في المراحل الدماغية، المعدية، والمعوية

25.4 الكبد، المرارة، والبنكرياس

1. موقع الكبد، التشريح العام، ووظيفة الهضم
2. تركيب وترتيب الفصيصات الكبدية في الفراغ
3. مسار تدفق الدم عبر الكبد
4. تركيب ووظائف الصفراء، ومسار تدفق الصفراء من الخلايا الكبدية إلى الاثنى عشر؛ وإعادة تدوير أحماض الصفراء وعلاقتها بالقضاء على الكوليسترول من الجسم
5. هيكل ووظيفة المرارة، واتصالها بقناة الصفراء
6. الموقع، التشريح العام، ووظائف البنكرياس الهضمية
7. تركيب الحُصَيات البنكرياسية، نظام القنوات، واتصاله بالاثنى عشر
8. تركيب وعمل عصارة البنكرياس الهضمية؛ أسماء ووظائف الإنزيمات والزيموجينات الهضمية الخاصة بها
9. الهرمونات التي تنظم إفراز الصفراء وعصارة البنكرياس

25.5 الأمعاء الدقيقة

1. الهياكل التي تحدد بداية ونهاية الأمعاء الدقيقة؛ المناطق الثلاث للأمعاء الدقيقة وأطوالها والاختلافات النسيجية لكل منها
2. كيف تحمي الأمعاء الدقيقة من التأثير التآكلي لعصارة المعدة
3. أهمية مساحة السطح لوظيفة الأمعاء الدقيقة، وأربع خصائص تمنحها مساحة سطح كبيرة
4. النسيجية الدقيقة للزغابات والأخاديد المعوية؛ أنواع الخلايا الموجودة في كل منها ووظائفها؛ علاقة القناة اللمفاوية (اللاكتيال) بالجهاز اللمفاوي ووظيفتها
5. إنزيمات الحدود الفرشية في الأمعاء الدقيقة ووظائفها
6. نوعان من حركة الأمعاء والفرق الوظيفي بينهما

دليل الدراسة

25.7 الأمعاء الغليظة

1. التشريح العام، علم الأنسجة، ووظائف الأمعاء الغليظة، بما في ذلك أجزاؤها الستة وطولها ال كلى
2. الميكروبيوم المعوى للقولون؛ تركيب ومصادر الغازات المعوية
3. التحكم في حركة القولون؛ الفروقات بين تقلصات الحوصلة وحركات الكتلة؛ ودور الم نعكسات المعدية القولونية والاثنى عشرية ال قولونية
4. آليات ردود الفعل المعوية الذاتية واللاودية لل تغوط، والتحكم الإرادي في التغوط؛ التشريح العصبى المتعلق بهذه الآليات التحكمية؛ و كيف يمكن لمناورة فالسالفا أن تحفز وتساع د في التغوط

25.6 الهضم الكيميائي والامتصاص

1. خطوات هضم الكربوهيدرات من الفم إلى ا لأمعاء الدقيقة؛ الإنزيمات المشاركة في كل خطوة ومساهماتها في تحلل الكربوهيد رات
2. آليات امتصاص أحادى السكاريد بواسطة مخا طية الأمعاء
3. خطوات هضم البروتين من المعدة إلى الأمعاء الدقيقة؛ الإنزيمات المشاركة في كل خطوة ومساهماتها في تحلل الببتيدات
4. آليات امتصاص الأحماض الأمينية بواسطة مخ اطية الأمعاء
5. خطوات هضم الدهون من المعدة إلى الأمعا ء الدقيقة؛ الإنزيمات المشاركة في كل خطوة وم ساهماتها في تحلل الببتيدات
6. ضرورة الاستحلاب لهضم الدهون بكفاءة؛ دور أحماض الصفراء والليسيثين في هذه ال عملية
7. آليات امتصاص الدهون بواسطة الغشاء المخاطى المعوى؛ دور الأوعية اللمفاوية (اللاكتيل)؛ وكيف ولماذا يختلف امتصاص ا لدهون ونقلها عن امتصاص ونقل السكر يات والأحماض الأمينية
8. الاختلافات بين قطرات الاستحلاب، ا لميسيلات، والكيلوميكرونات في معالجة الده ون
9. هضم DNA وRNA في الأمعاء الدقيقة، و طريقة امتصاص نواتج تحللها
10. المغذيات التى لا تهضم بل تُمتص مباشرة؛ الجوانب الخاصة لامتصاص الفيتامينات الذ ائبة في الدهون وفيتامين B 12
11. طرق امتصاص الماء والمعادن، خصوصًا Na^+ و K، Cl^+، Fe^-، $^{2+}$؛ أدوار الهيبسيدين، الكالسيتريول، وهرمون الغد Ca^{2+} ة الجار درقية في امتصاص الحديد والكالسيوم

اختبار استرجاعك

الإجابات في الملحق أ

1. أي من الإنزيمات التالية يعمل في المعدة؟
   أ. كيموتريبسين
   ب. ليباز اللسان
   ج. كاربوكسى ببتيداز
   د. إنتيروببتيداز
   هـ. ديكستريناز
2. أي من الإنزيمات التالية لا يهضم أي من المغذيات؟
   أ. كيموتريبسين
   ب. ليباز اللسان
   ج. كاربوكسى ببتيداز
   د. إنتيروببتيداز
   هـ. ديكستريناز
3. أي مما يلي *ليس* إنزيمًا؟
   أ. كيموتريبسين
   ب. إنتيروببتيداز
   ج. سيكريتين
   د. بيبسين
   هـ. نوكليوزيداز
4. المادة في السؤال ٣ التي *ليست* إنزيمًا هي
   أ. زيموجين.
   ب. مغذٍ.
   ج. مستحلب.
   د. ناقل عصبى.
   هـ. هرمون.
5. تمتص الأوعية اللمفاوية المعوية
   أ. الكلومكرونات.
   ب. الميسيلات.
   ج. قطرات الاستحلاب.
   د. الأحماض الأمينية.
   هـ. أحاديات السكر.
6. كل ما يلي يساهم في مساحة السطح الامتصاصي للأمعاء الدقيقة *باستثناء*
   أ. طولها.
   ب. الحد الحدودي.
   ج. هاوسترا.
   د. طيات دائرية.
   هـ. زغابات.
7. أي مما يلي هو نسيج دواعم السن؟
   أ. اللثة
   ب. المينا
   ج. الأسمنت
   د. اللب
   هـ. العاج
8. المعدة ______ تشريحياً. الـ ______ من تشبه إلى حد بعيد الأمعاء الدقيقة.
   أ. الحفر المعدية، تجاويف الأمعاء
   ب. الغدد البوابية، تجاويف الأمعاء
   ج. الثنايا، العقد اللمفاوية المجمعة
   د. الخلايا الجدارية، خلايا الكأس
   هـ. الغدد المعدية، الغدد الاثنى عشرية
9. أي من الخلايا التالية تفرز الإنزيمات الهضمية؟
   أ. الخلايا الرئيسية
   ب. خلايا عنق المخاطية
   ج. الخلايا الجدارية
   د. خلايا الكأس
   هـ. الخلايا المعوية الصماء
10. أي مرحلة من تنظيم المعدة تشمل التثبيط بواسطة المنعكس المعوى المعدى؟
    أ. المرحلة المعوية
    ب. المرحلة المعدية
    ج. المرحلة الفموية
    د. المرحلة الدماغية
    هـ. مرحلة البلعوم المريئى
11. أسطح ______ القُمم هي سمة من سمات الأضراس والأضراس الصغيرة.
12. حموضة المعدة توقف عمل ______، ولكنها تعزز عمل ______ وهما إنزيمان في اللعاب.
13. الغدة اللعابية سُميت نسبة إلى قربها من الأذن. ______ الـ بالقرب من الأذن.
14. تشكل الصفائر تحت المخاطية والعضلية م ______عًا الصفيرة.
15. يتم تحفيز النشاط العصبى للجهاز الهضم ى بشكل رئيسى من خلال ألياف الجهاز ا لعصبى اللاودى ______ الأعصاب.

دليل الدراسة

20. داخل خلايا الامتصاص في الأمعاء الدقيق ة، يرتبط الفيريتين بالمغذيات ______ .

18. الإنزيم الحدّي الذي يُكمل عملية هضم البرو تين، مفصلاً آخر حمضين أمينيين، يُسمى ______.

19. الدهون التي تدخل الاثنى عشر تُغطى باللبس للحفاظ على استحلابها ______يثين و وتعزيز كفاءة هضمها.

16. يسبب الطعام في المعدة خلايا G أن ت فرز ______ ، مما يحفز بدوره إفراز حمض الهيدروكلوريك والبيبسينوجين.

17. تحدث الخلايا البلعمية النجمية في الفراغات المم لوءة بالدم في الكبد المسماة ______.

بناء مفرداتك الطبية

الإجابات في الملحق أ

اذكر معنى كل عنصر من عناصر الكلمة، وقدم مص طلحًا طبيًا من هذا الفصل يستخدمه أو يستخدم ن سخة معدلة منه.

1. أنتر-
2. كيلو-
3. إيل-
4. إميت-
5. فرينو-
6. هيباتو-
7. jejuno-
8. porto-
9. pyloro-
10. sigmo-

ما الخطأ في هذه العبارات؟

الإجابات في الملحق أ

اشرح بإيجاز لماذا كل من العبارات التالية خاطئة، أ و أعد صياغتها لتصبح صحيحة.

1. لا يتم هضم الدهون حتى تصل إلى الا ثنى عشر.
2. يتكون السن في الغالب من المينا.
3. تفرز الخلايا الكبدية الصفراء إلى الجيوب ال كبدية.
4. تتحكم الحليمة اللفائفية في مرور الكيموس من المعدة إلى الاثنى عشر.
5. تدخل الدهون إلى الدورة الدموية عندما تمتص الخملات المعوية الميسيلات ال تي تكونها الأمعاء الدقيقة.
6. يزيد الهيبسيدين من توفر الحديد عن طر يق تعزيز امتصاصه المعوي.
7. السكريات الأحادية الوحيدة التي يمتصها الأمعاء الدقيقة هي الجلوكوز.
8. يُعاد امتصاص معظم الماء في الجهاز الهضمي في الأمعاء الغليظة.
9. السكرتين هو هرمون يحفز المعدة على إفراز الإنزيمات الهضمية.
10. تمنع الوصلات الضيقة في الأمعاء الدقيقة تسرب أي شيء بين خلايا الطهارة.

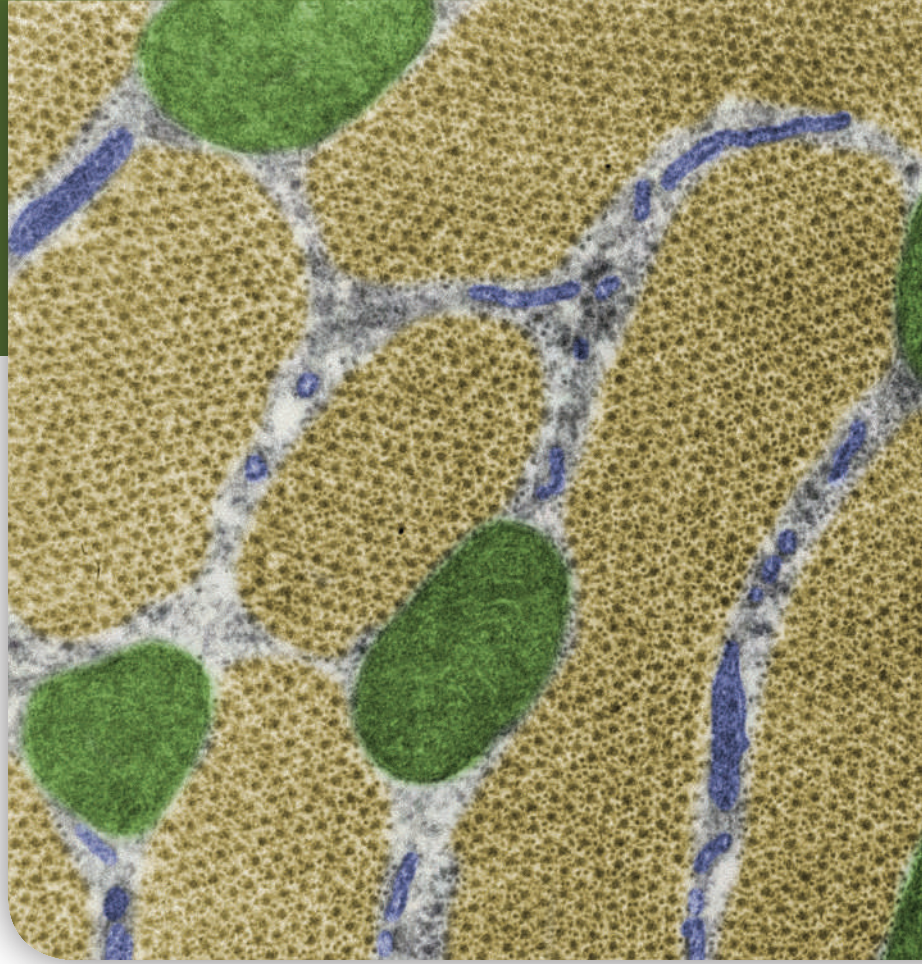
اختبار فهمك

1. في يوم الاثنين، يتناول ديفيد وفل مع شراب على الإفطار في الساعة 7:00، وبحلول الساعة 10:3 0 يشعر بالجوع مرة أخرى. في يوم الثلاثاء، يتناول ل حم الخنزير المقدد والبيض ويشعر بالشبع حتى ي قترب وقت الغداء في الظهيرة. بافتراض تساوي كم ية الطعام في كلا اليومين وجميع العوامل الأخرى متساوية، فسّر هذا الاختلاف.
2. أي من هذه تعتقد أنه سيكون له التأثير الأ كثر شدة على الهضم: الاستئصال الجراحي للم عدة، أو المرارة، أو البنكرياس؟ فسّر.
3. ما القاسم المشترك بين الكاربو كسي ببتيداز والأمينوببتيداز؟ حدد أكبر عدد مم كن من الاختلافات بينهما.
4. ما القاسم المشترك بين الميسيلات والكيل يومكرونات؟ حدد أكبر عدد ممكن من الاخ تلافات بينهما.
5. فسّر لماذا يجب أن تمتص معظم الدهون ا لغذائية عن طريق اللاكتيلات بدلاً من الشعيرا ت الدموية الدموية في الزغابة.

الفصل

26

التغذية و الأيض



مقطع عرضي لألياف العضلات الهيكلية مع الميتوكوندريا)باللون الأخضر الفاتح(المتراصة بينها. توفر هذه الميتوكوندريا الـ ATP اللازمة لانقباض العضلات.

خوسيه لويس كالفو/Shutterstock

رؤى أعمق

26.1 التطبيق السريري: السمنة

26.2 الطب التطوري: تطور حب السكر

26.3 التطبيق السريري: التهاب الكبد و تليف الكبد

26.4 التطبيق السريري: الكحول و إدمان الكحول

مخطط الفصل



الوحدة 12: الجهاز الهضمي

26.1أ وزن الجسم وتوازن الطاقة

موضوع التغذية يثير بسرعة موضوع وزن الجسم والرغبة الشعبية في ا لتحكم فيه. يتم تحديد الوزن من خلال توازن الطاقة—إذا كان تناول ال طاقة واستهلاكها متساويين، فإن وزن الجسم يكون مستقرًا. نكتسب وزنًا إذا تجاوز الاستهلاك الإنفاق ونفقد وزنًا إذا تجاوز الإنفاق الاستهلا ك. عادةً ما يظل وزن الجسم مستقرًا إلى حد كبير على مدى سنوات ع ديدة ويبدو أن له نقطة ضبط ذاتي)توازن داخلي(. وقد تم إثبات ذلك تجريبيًا في الحيوانات.

إذا تم إطعام الحيوان قسرًا حتى يصبح سمينًا ثم سُمح له بالتغذية ح سب الرغبة، فإنه يقلل من تناوله طوعًا ويستقر قريبًا عند وزنه السابق . وبالمثل، إذا تم تغذية الحيوان بشكل غير كافٍ حتى يفقد الكثير من وزنه ثم سُمح له بالتغذية حسب الرغبة، فإنه يزيد من تناوله ويستقر م رة أخرى بسرعة عند وزنه السابق.

في البشر، تختلف نقطة الضبط بشكل كبير من شخص لآخر، وي نتج وزن الجسم عن مزيج من العوامل الوراثية والبيئية. من دراسات ا لتوائم المتطابقة وأشخاص آخرين، يبدو أن حوالي 30% إلى 50% من التفاوت في وزن الإنسان يعود إلى الوراثة، والباقي يعود إلى عوامل م ثل عادات الأكل والتمارين الرياضية. حتى الميكروبيوم المعوي لدينا يؤ ثر على استخدامنا للمغذيات ووزن أجسامنا.

التَعَرُّفُ عَلَى الأيض

- فهم الأيض يتطلب الإلمام المسبق بالمفاهيم الأساسية للأيض في ا لقسم 2.3د ومسارات الأيض في القسم 2.4و.
- يجب أن تكون على دراية بكيمياء الكوليسترول والدهون المشبعة وغ ير المشبعة قبل قراءة الفصول المتعلقة بـ LDLs و HDLs وبروتينات ا لدم الدهنية الأخرى في هذا الفصل)انظر القسم 2.4د(.
- تتضمن معالجة البروتينات الدهنية الالتقام الخلوي المتوسط بالم ستقبلات، والذي تم تقديمه في القسم 3.3و.
- التفاعلات الهدمية التي نوقشت في هذا الفصل هي في الغا لب طرق لتكوين ATP. يجب أن تفهم تركيب ووظائف ATP)انظر الشكل 2.29أ والنص المرتبط به(.
- الأنسولين والجلوكاجون مهمان بشكل خاص في تنظيم الأيض؛ قم بمراجعة هذه الهرمونات في القسم 17.3و إذا لزم الأمر.
- في تنظيم درجة حرارة الجسم، يتبع انتقال الحرارة مبدأ التدفق عبر ا لتدرجات الحرارية الذي تم تقديمه في القسم 1.6هـ.

26.1ب الشهية

غالبًا ما يبدو أن الصراع من أجل التحكم في الوزن هو صراع ضد الشه ية. منذ أوائل التسعينيات، اكتشف علماء الفسيولوجيا قائمة متزايدة من هرمونات الببتيد ومسارات التنظيم التي تتحكم في الشهية قصير ة وطويلة الأمد ووزن الجسم. بعض هذه الهرمونات أُطلق عليها اسم *ببتيدات الأمعاء–الدماغ* لأنها تعمل كإشارات كيميائية ذات اتجاهين بين الجهاز الهضمي والدماغ. سيتم وصف بعضها هنا لإعطاء فكرة عن آليات التنظيم المعروفة حتى الآن والمجالات التي يتركز عليها الكثير من البحث حاليًا.

التغذية هي نقطة البداية والأساس لكل شكل ووظيفة بشرية. منذ أن تنقسم البويضة المخصبة أحادية الخلية إلى اثنتين، توفر التغذية الماد ة اللازمة لانقسام الخلايا والنمو والتطور. إنها مصدر الوقود الذي يوفر الطاقة لكل الأعمال البيولوجية، ومصدر المواد الخام لاستبدال الجزيئات والخلايا ا لبيولوجية التالفة.

حقيقة أن المغذيات هي فقط المواد الخام تعني، علاوة على ذلك، أن التغير الكيميائي — الأيض — يكمن في أساس الشكل والوظيفة. في الفصل 2 5، رأينا كيف يكسر الجهاز الهضمي المغذيات إلى شكل قابل للاستخدام و يمتصها في الدم واللمف. نحن الآن ندرس هذه المغذيات بعمق أكبر، ونتا بع مصيرها بعد الامتصاص، ونستكشف القضايا المتعلقة بالأيض وحرارة ا لجسم.

المنظمات قصيرة الأمد للشهية

تعمل الببتيدات التالية على مدى دقائق إلى ساعات، مما يجعل الشخ ص يشعر بالجوع ويبدأ في الأكل، ثم يشعر بالشبع وينهي الوجبة:

- غريلين.[1] يُفرز هذا من خلايا جدارية في قاع المعدة، خاصة عندما تكون المعدة فارغة. ينتج إحساس الجوع ويحفز الوطاء ع لى إفراز هرمون إفراز هرمون النمو، مما يهيئ الجسم للاستفادة من المغذيات التي سيتم امتصاصها إذا تناول الشخص وجبة. يتوقف إفراز الغريلين خلال ساعة بعد الأكل.
- ببتيد (PYY) YY. يُفرز هذا الهرمون من خلايا الغدد الصماء الم عوية في اللفائفي والقولون، التي تشعر بوصول الطعام حتى ع ند دخوله المعدة. تفرز PYY قبل وصول الكيموس إلى اللفائفي بفترة طويلة، وبكميات تتناسب مع السعرات الحرارية المس تهلكة. التأثير الأساسي لـ PYY هو إرسال إشارة الشبع وإنهاء الأ كل. وهكذا، الغريلين هو أحد الإشارات التي تبدأ الوجبة، وPYY ه و أحد الإشارات التي تنهيها. يبقى مستوى PYY مرتفعًا لفترة ط ويلة بعد الوجبة.
يعمل كـ *فرامل اللفائفي* التي تمنع المعدة من التفريغ بسرعة كبيرة، وبالتالي يطيل من إحساس الشبع.

التغذية

26.1

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف بعض العوامل التي تنظم الجوع والشبع؛
ب. تعريف المغذيات وسرد الفئات الست الرئيسية للمغذ يات؛
ج. ذكر وظيفة كل فئة من المغذيات الكبيرة، والكميات التقريبية المطلوبة في النظام الغذائي، وبعض المصادر الغذائية الرئ يسية لكل منها؛
d. تسمية البروتينات الدهنية في الدم، وذكر وظائفها، ووصف ك يفية اختلافها عن بعضها البعض؛ و
e. تسمية الفيتامينات والمعادن الرئيسية التي يحتاجها الجسم و الوظائف العامة التي تؤديها.

---

[1] اسميت جزئياً من غرى = النمو، وجزئياً كاختصار مشتق من هرمون النمو– هرمون إطلاق

ونفقات الطاقة على مدى فترات تتراوح من أسابيع إلى سنوات. يعمل العضوان التاليان في هذه المجموعة كـ "إشارات السمنة"، حيث يُعلِمان الدماغ بكمية النسيج الدهني التي يمتلكها الجسم ويُفعّلان آليات لإضافة أو تقليل الدهون.

- اللبتين.[2] يُفرز اللبتين بواسطة الخلايا الدهنية في جميع أنحاء الجسم. مستواه يتناسب مع مخزون الدهون لدى الفرد، لذا فهو الطريقة الأساسية للدماغ لمعرفة كمية الدهون التي نمتلكها. النسيج الدهني مزود بالعصب بواسطة حزم سميكة من الجهاز العصبي الودي

[2] ليبت = نحيف

- الهُرمون كوليسيستوكينين (CCK). يُفرز CCK بواسطة الخلايا المعوية الصماء في الاثني عشر والصائم. يحفز إفراز الصفراء وإنزيمات البنكرياس، ولكنه أيضًا يحفز الدماغ والألياف الحسية للعصب المبهم، مما ينتج عنه تأثير مثبط للشهية. وهكذا، ينضم إلى هرمون PYY كإشارة للتوقف عن الأكل.
- أميلين. هذا الهرمون من خلايا بيتا في جزر البنكرياس ينتج أيضًا شعورًا بالشبع ويقلل من نشاطات الهضم في المعدة.

المنظمات طويلة الأمد للشهية

تنظم ببتيدات أخرى الشهية، ومعدل الأيض، ووزن الجسم على المدى الطويل، حيث تتحكم في متوسط معدل تناول السعرات الحرارية.



نظرة أعمق 26.1

تطبيق سريري

السمنة

السمنة تُعرّف سريريًا بأنها وزن يزيد عن 20% فوق المعدل الموصى به للعمر والجنس والطول. في الولايات المتحدة، أكثر من 70% من البالغين يعانون من زيادة الوزن وحوالي 40% منهم يعانون من السمنة؛ وقد شهد عدد الأطفال الذين يعانون من السمنة المفرطة بحلول سن العاشرة زيادة مقلقة مؤخرًا. التقييم الشائع لوزن الجسم هو مؤشر كتلة الجسم (BMI). إذا كان W هو وزنك بالكيلوغرام وH هو طولك بالمتر، فإن مؤشر كتلة الجسم = W/H^2. (أو إذا كنت تستخدم الوزن بالرطل والطول بالبوصة، فإن مؤشر كتلة الجسم = $703W/H^2$). يُعتبر مؤشر كتلة الجسم بين 20 و25 كجم/م^2 مثاليًا لمعظم الناس. ويُعتبر مؤشر كتلة الجسم فوق 27 كجم/م^2 زيادة في الوزن، وفوق 30 كجم/م^2 سمنة (الشكل 26.1). ومع ذلك، من المشكوك فيه ما إذا كان مؤشر كتلة الجسم معيارًا عادلًا أو ذا صلة بوزن الجسم الصحي أو معيارًا للسمنة عبر جميع المجموعات العرقية.

الوزن الزائد يقلل من متوسط العمر المتوقع ويزيد من خطر الإصابة بتصلب الشرايين، وارتفاع ضغط الدم، وداء السكري، وآلام المفاصل والتنكس، وحصى الكلى، وحصى المرارة؛ وسرطان الثدي، والرحم، والكبد لدى النساء؛ وسرطان القولون، والمستقيم، والبروستاتا لدى الرجال. الدهون الزائدة في الصدر تعيق التنفس وتؤدي إلى زيادة ضغط ثاني أكسيد الكربون في الدم (Pco_2)، والنعاس، وانخفاض الحيوية. كما أن السمنة تشكل عائقًا كبيرًا أمام بعض العمليات الجراحية.

تلعب الوراثة دورًا في السمنة بقدر ما تلعبه في الطول، وحتى أكثر من العديد من الاضطرابات الأخرى التي يُعترف بها عمومًا كاضطرابات وراثية. ومع ذلك، فإن الاستعداد للسمنة غالبًا ما يتفاقم بشكل كبير بسبب الإفراط في التغذية في مرحلة الطفولة والرضاعة، مما يزيد من حجم وعدد الخلايا الدهنية (adipocytes) وقد يؤثر على نقطة الوزن الثابتة مدى الحياة للفرد. في مرحلة البلوغ، لا تتكاثر الخلايا الدهنية إلا في حالات زيادة الوزن الشديدة؛ حيث يظل عددها ثابتًا بينما تحدث زيادة أو نقصان في الوزن نتيجة لتغير حجم الخلايا (تضخم الخلايا).

كما يتعلم العديد من الأشخاص الذين يتبعون الحميات الغذائية، من الصعب تقليل وزن البالغين بشكل كبير. تفشل معظم الحميات على المدى الطويل حيث يفقد الأشخاص الوزن ويستعيدونه مرارًا وتكرارًا. ومن منظور تطوري، هذا ليس مفاجئًا. فقد تطورت آليات تنظيم الشهية والوزن في الجسم أكثر للحد من فقدان الوزن بدلًا من زيادة الوزن، لأن ندرة الطعام كانت بالتأكيد مشكلة أكثر شيوعًا من فائض الطعام لأسلافنا في العصور القديمة. لو لم تكن هناك آليات تقاوم فقدان الوزن، ربما لم يكن أسلافنا ليصمدوا خلال فترات القحط وربما لم نكن نحن هنا؛ ولكن الآن، مع وفرة الطعام المغرية من حولنا، أصبحت هذه الآليات التي كانت للبقاء تتحول إلى آليات مرضية.

من المفهوم أن شركات الأدوية مهتمة بشدة بتطوير أدوية فعالة للتحكم في الوزن. قد يكون هناك ربح هائل، على سبيل المثال، في دواء يثبط إشارات الغريلين أو يعزز أو يحاكي إشارات اللبتين أو الملانوكورتين. حتى الآن، لم تحقق هذه الجهود نجاحًا كبيرًا، ولكن من الواضح أن الشرط الأساسي لتطوير الأدوية هو فهم أفضل للببتيدات المنظمة للشهية ومستقبلاتها.



الشكل 26.1 صور الرنين المغناطيسي لأشخاص يعانون من السمنة والوزن الطبيعي. على اليسار امرأة تبلغ من العمر 40 عامًا وطولها 168 سم (5 أقدام و6 إنشات)، ويبلغ وزنها 113 كجم (250 رطل)، مع مؤشر كتلة جسم 40.3 كجم/م^2. النسيج الدهني لونه أصفر مائل إلى الأبيض. لاحظ كمية الدهون تحت الجلد الكبيرة بين الجلد والعضلات و الدهون المساريقية في تجويف البطن.

Gustoimages/Science Source

لفئات مختلفة من المغذيات. على سبيل المثال، *النورإبينفرين* يحفز الشهية للكربوهيدرات، *الجالانين* للأطعمة الدهنية، و *الإندورفينات* للبروتين.

26.1س السعرات الحرارية

السعر الحراري الواحد هو كمية الحرارة التي ترفع درجة حرارة 1 جرام من الماء بمقدار 1 درجة مئوية. ألف سعر حراري يسمى كالوري (بحرف C كبير) في علم التغذية وكيلوكالوري (kcal) في الكيمياء الحيوية وعلم وظائف الأعضاء. الأهمية الفسيولوجية للسعرات الحرارية هي أنها مقياس لقدرة الجسم على أداء العمل البيولوجي.

تقريبًا جميع السعرات الحرارية الغذائية تأتي من الكربوهيدرات، البروتينات، والدهون. حتى داخل أي من هذه الفئات، تختلف المغذيات عن بعضها البعض في قابلية الهضم والعائد الحراري. عند الأكسدة الكاملة، تعطي الكربوهيدرات المختلفة حوالي 3.6 إلى 4.1 (بمتوسط 3.9) كيلو كالوري/جرام؛ البروتينات حوالي 2.6 إلى 4.4 (بمتوسط 3.8) كيلو كالوري/جرام؛ والدهون حوالي 8.4 إلى 9.0 (بمتوسط 8.7) كيلو كالوري/جرام. بمعنى آخر، الدهون تعطي أكثر من ضعف العائد الحراري لكل جرام مقارنة بالكربوهيدرات والبروتينات. الكحول (7.1 كيلو كالوري/جرام) والأطعمة السكرية تعزز سوء التغذية من خلال توفير "سعرات حرارية فارغة" — فهي تشبط الشهية ولكنها تفشل في توفير المغذيات الأخرى التي يحتاجها الجسم (انظر التعمق 26.4). في التغذية السليمة، يتم تلبية احتياجات الجسم من الطاقة عن طريق أطعمة أكثر تعقيدًا تلبي في الوقت نفسه الحاجة إلى البروتينات، والدهون، والفيتامينات، وغيرها من المغذيات.

عندما يُوصف مركب كـ وقود في هذا الفصل، نعني أنه يُؤكسد بشكل كامل أو أساسي لاستخلاص الطاقة منه. الطاقة المستخلصة تُستخدم عادةً لصنع ATP، الذي ينقل الطاقة إلى العمليات الفسيولوجية الأخرى (انظر الشكل 2.30).

26.1د المغذيات

المغذي هو أي مركب كيميائي يتم تناوله ويمتص في الأنسجة ويُستخدم للنمو أو الإصلاح أو صيانة الجسم.

تنقسم المغذيات إلى ست فئات رئيسية: الماء، الكربوهيدرات، الدهون، البروتينات، المعادن، والفيتامينات. يُعتبر الماء، والكربوهيدرات، والدهون، والبروتينات مغذيات كبيرة (ماكرونيوتريانتس) لأنها مطلوبة بكميات نسبية كبيرة. أما المعادن والفيتامينات فتُسمى مغذيات دقيقة (ميكرونيوتريانتس) لأنها مطلوبة بكميات صغيرة فقط. نقيس الاحتياجات الغذائية من حيث الجرامات يوميًا للمغذيات الكبيرة، ولكن بالمليغرامات إلى الميكروغرامات يوميًا للمغذيات الدقيقة.

يمكن للجسم تصنيع العديد من المغذيات عندما لا تتوفر من النظام الغذائي. ومع ذلك، لا يستطيع الجسم تصنيع المعادن، معظم الفيتامينات، ثمانية من الأحماض الأمينية، ومن واحد إلى ثلاثة من الأحماض الدهنية. تُسمى هذه المغذيات الأساسية لأنه من الضروري تضمينها في النظام الغذائي.

تلخص الجدول 26.1 وظائف وجرعات الاستهلاك اليومية الموصى بها لفئات المغذيات الكبيرة. (يتم مناقشة المغذيات الدقيقة وجدولتها لاحقًا.) البيانات المدرجة هي الجرعات اليومية الموصى بها من قبل الأكاديمية الوطنية للطب في الولايات المتحدة للأشخاص الذين تتراوح أعمارهم بين 19 و50 عامًا. تستخدم الأكاديمية مصطلح المدخول الغذائي الموصى به (RDA) عندما تتوفر بيانات كافية لتحديد أن هذا المدخول يلبي احتياجات 97% أو أكثر من الرجال والنساء في فئة عمرية معينة. في حالات عدم اليقين، بسبب قلة البيانات، تقدم الأكاديمية قيمًا تسمى المدخول الكافي (AI)، وهو الاستهلاك اليومي الذي يُعتقد أنه يلبي الاحتياجات.

الألياف العصبية. يحفز اللبتين هذه الألياف على إفراز النورإبينفرين، والذي بدوره يحفز تحلل الدهون *(تحلل الشحوم)*.

تعاني الحيوانات التي تعاني من نقص في اللبتين أو خلل في مستقبلات اللبتين من فرط الأكل (الإفراط في تناول الطعام) والسمنة المفرطة.

مع وجود بعض الاستثناءات القليلة، فإن البشر البدناء ليسوا عادةً يعانون من نقص في اللبتين أو يستفيدون من حقن اللبتين. عدم حساسية اللبتين هو عامل أكثر شيوعًا في السمنة — وهو خلل في المستقبلات بدلاً من نقص في الهرمون. يُنظر إلى الأنسجة الدهنية بشكل متزايد كمصدر مهم لعدة هرمونات تؤثر على توازن الطاقة في الجسم.

الأنسولين. يُفرز الأنسولين من خلايا بيتا في البنكرياس. يحفز امتصاص الجلوكوز والأحماض الأمينية ويعزز تخليق الجليكوجين والدهون. لكنه يحتوي أيضًا على مستقبلات في الدماغ ويعمل، مثل اللبتين، كمؤشر لمخزون الدهون في الجسم. ومع ذلك، فإن تأثيره على الشهية أضعف من تأثير اللبتين.

مركز دماغي مهم لتنظيم الشهية هو نواة القوس (arcuate nucleus) في الوطاء (انظر الشكل 14.12ب). تحتوي هذه النواة على مستقبلات للببتيدات المذكورة أعلاه، لكنها تؤثر أيضًا على خلايا مستهدفة أخرى في الجسم. تحتوي نواة القوس على شبكتين عصبيتين تشاركان في الجوع. تفرز مجموعة واحدة الببتيد العصبي Y (neuropeptide Y - NPY)، وهو محفز قوي للشهية. أما المجموعة الأخرى فتفرز الميلانوكورتين (melanocortin)، الذي يثبط الأكل. يحفز الغريلين إفراز NPY، في حين يثبطه الأنسولين وPYY واللبتين. كما يحفز اللبتين إفراز الميلانوكورتين (الشكل 26.2) ويثبط إفراز محفزات الشهية المسماة بالكانابينويدات الداخلية (endocannabinoids)، التي سُميت لتشابهها مع رباعي هيدروكانابينول (THC) الموجود في الماريجوانا.

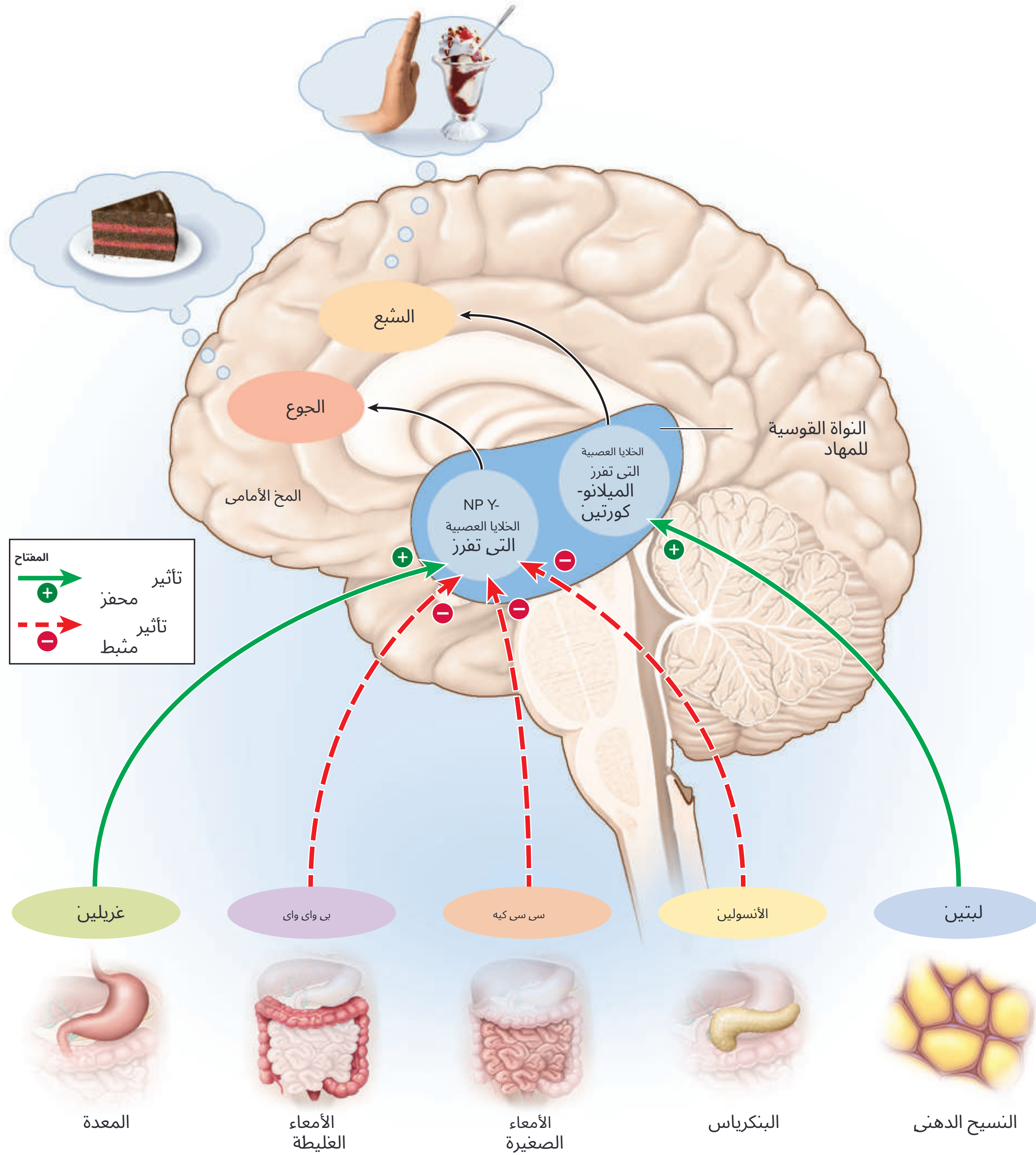
 طبق ما تعرفه

صديق يشجعك على الاستثمار في شركة تقترح إنتاج أقراص من اللبتين وCCK تؤخذ كحبوب غذائية فموية. هل تعتبر هذا استثمارًا حكيمًا؟ ولماذا أو لماذا لا؟

ببتيدات الأمعاء والدماغ ليست القصة الكاملة وراء تنظيم الشهية. يُحفز الجوع جزئيًا أيضًا بواسطة التمعج المعدي. تبدأ تقلصات الجوع الخفيفة (hunger contractions) بعد وقت قصير من إفراغ المعدة وتزداد شدتها على مدى ساعات. يمكن أن تصبح دافعًا مؤلمًا وقويًا للأكل، لكنها لا تؤثر على كمية الطعام المستهلكة — حيث تبقى تقريبًا كما هي حتى عند قطع الاتصالات العصبية إلى المعدة والأمعاء لقطع كل الإدراك الواعي لتقلصات الجوع. لا ينتهي تناول الطعام فقط بواسطة PYY وCCK، بل أيضًا بطرق مشابهة للطريقة التي يروى بها الماء العطش (انظر القسم 24.1ح). مجرد المضغ والبلع يرضيان الشهية لفترة وجيزة، حتى لو تم إزالة الطعام عبر ناسور المريء (فتحة) قبل وصوله إلى المعدة. نفخ المعدة بواسطة بالون يثبط الجوع حتى في حيوان لم يبتلع أي طعام فعليًا.

ومع ذلك، فإن الشبع الناتج عن هذه الآليات يكون قصير الأمد جدًا. يعتمد الشبع الدائم على امتصاص المغذيات إلى الدم.

الشهية ليست مجرد مسألة "كمية" بل أيضًا "نوع" الطعام الذي يُستهلك. حتى الحيوانات المتنوعة مثل العناكب والموط تغير أنظمتها الغذائية من نوع إلى آخر، على ما يبدو لأن بعض الأطعمة توفر مغذيات لا توفرها أخرى. في البشر، يبدو أن نواقل عصبية مختلفة تتحكم أيضًا في الشهية.



الشكل 26.2 المسارات الرئيسية لتنظيم الشهية بواسطة ببتيدات الأمعاء-الدماغ. الأنسجة والأعضاء فى أسفل الشكل هى مصادر للببتيدات التى تحفز أو تثبط الخلايا العصبية المنظمة للشهية فى النواة القوسية)arcuate nucleus(فى الوطاء. اعتمادًا على توازن التحفيز والتثبيط، تفرز هذه الخلايا العصبية NPY أو الميلانوكورتين لإحداث إحساس واعٍ بالجوع أو الشبع، على التوالى.)تم عرض النواة القوسية أكبر بكثير من حجمها الحقيقى.( )PYY = ببتيد YY؛ CCK = كوليسيستوكينين؛ NPY = نيوروببتيد Y(

26.1e الكربوهيدرات

يحتوى جسم البالغ المتوسط التغذية على حوالى 440 جرامًا من الكربوهيدرات، معظمها فى ثلاثة أماكن: 325 جرامًا من جليكوجين العضلات، و90 إلى 100 جرام من جليكوجين الكبد، و15 إلى 20 جرامًا من جلوكوز الدم. تعمل السكريات كمكون هيكلى لجزيئات أخرى بما فى ذلك الجليكوبروتينات، الجليكوليبيدات، ATP والنيوكليوتيدات ذات الصلة)GTP، cAMP، إلخ(، والأحماض النووية؛ كما يمكن تحويلها أيضًا

عدد الأشخاص فى فئة عمرية معينة. RDA و AI هما مكونان من نظام أوسع من التوصيات الغذائية يسمى *النظام الغذائى معدلات الاستهلاك المرجعية)DRIs(*، والتى تشمل أيضًا التوصيات لفئات خاصة من الأفراد مثل الرضع، الأطفال، والنساء الحوامل أو المرضعات، والحدود العليا المقبولة للاستهلاك لتجنب الجرعات السامة مثل فرط الحديد وفرط الفيتامينات)سيتم شرحه لاحقًا(.

الجدول 26.1 متطلبات ووظائف المغذيات الكبرى

الوظائف التمثيلية	الإناث	الذكور	مغذٍ
	المدخول الغذائى الموصى به/المدخول الكافى،		
مذيب؛ مبرد؛ مادة متفاعلة أو ناتجة فى العديد من التفاعلات الأيضية)خاصة التحلل المائى و التكثيف(؛ يخفف ويزيل الفضلات الأيضية؛ يدعم حجم الدم وضغطه	٧.٢ لتر	٧.٣ لتر	الماء
وقود؛ مكون من الأحماض النووية، ATP ونيوكليوتيدات أخرى، الجليكوبروتينات، والجليكوليبيدات	٠٣١ غرام	٠٣١ غرام	الكربوهيدرات
انقباض العضلات؛ حركة الأهداب والأسواط؛ تركيب أغشية الخلايا والمواد خارج الخلوية؛ الإنزيمات؛ المكون الر ئيسى للأنسجة الصامة؛ نقل دهون البلازما؛ بعض الهرمونات؛ أصباغ ربط ونقل الأكسجين؛ عوامل تختر الد م؛ لزوجة الدم والأسمولارية؛ الأجسام المضادة؛ التعرف المناعى؛ المنظمات العصبية؛ العوازل؛ وقود الطوارئ	46 جم	56 جم	البروتين
الوقود؛ تركيب غشاء البلازما؛ أغلفة الميالين للألياف العصبية؛ الهرمونات؛ الإيكوسانويدات؛ أحماض الصفراء ؛ العزل؛ التبطين الوقائى حول الأعضاء؛ امتصاص الفيتامينات الذائبة فى الدهون؛ تخليق فيتامين د؛ بعض عوا مل تختر الدم	20% إلى 35% من إجمالى السع رات الحرارية		الدهون

نظرة أعمق 26.2



الطب التطورى

تطور حب الحلاوة

إن رغبتنا فى السكر بلا شك نشأت من أسلافنا فى عصور ما قبل التاريخ. لم يكن عليهم فقط أن يعملوا بجهد أكبر بكثير للبقاء على قيد الحياة مقارنة بنا، بل كانت ا لأطعمة عالية السعرات الحرارية نادرة وكان الناس معرضين لخطر المجاعة باستمر ار. أولئك الذين كانوا متحفزين بشدة للبحث عن الأطعمة السكرية عالية السعرات واستهلاكها نقلوا "حبهم للحلوى" إلينا، أحفادهم—إلى جانب شهية متكيفة مماثلة لمغذيات نادرة أخرى لكنها حيوية، وهى الدهون والملح. يمكن أن تصبح الأذواق ا لتى كانت ضرورية لبقاء أسلافنا الآن عائقًا فى ثقافة يسهل فيها الحصول على الأ طعمة المالحة والدهنية والحلوة بشكل مفرط؛ حيث تستغل صناعة الأغذية هذه ا لأذواق بحماس.

توصى الأكاديمية الوطنية للطب بعدم تجاوز 25% من السعرات ا لحرارية اليومية من السكريات المضافة بخلاف تلك الموجودة طبيعيًا فى الطعام. ومع ذلك، أصبح استهلاك الكربوهيدرات فى الولايات الم تحدة مفرطًا خلال القرن الماضى بسبب مزيج من حب الحلويات، وز يادة استخدام السكر فى الأطعمة المصنعة، وانخفاض النشاط البدنى)انظر التعمق 26.2(. قبل قرن من الزمن، كان الأمريكيون يستهلكون متوسط 1.8 كجم)4 أرطال(من السكر سنويًا. الآن، مع الاستخدام الوا سع للسكروز وشراب الذرة عالى الفركتوز فى الأطعمة والمشروبات الم صنعة، يستهلك الأمريكى المتوسط 200 إلى 300 جرام من الكربوهيد رات يوميًا، وما يعادل 27 كجم)60 رطل(من السكر المائدة و21 كجم)46 رطل(من شراب الذرة سنويًا. تحتوى حصة واحدة من الصودا غير الدايت بحجم 355 مل)12 أونصة(على 38 إلى 43 جرامًا من السكر)حوالى 8 ملاعق صغيرة(.

تأتى الكربوهيدرات الغذائية فى ثلاثة أشكال رئيسية: السكريات ا لأحادية، السكريات الثنائية، والسكريات المتعددة)الكربوهيدرات المع قدة(. النشا هو السكريات المتعددة الوحيدة ذات الأهمية الغذائية. عل ى الرغم من أن الجليكوجين هو أيضًا سكريات متعددة، إلا أن كمياته فى الطعام ضئيلة جدًا. السليلوز، وهو سكريات متعددة آخر، لا يُعتبر م غذيًا لأنه لا يُهضم ولا يدخل أنسجة الإنسان. ومع ذلك، سيتم مناقشة أهميته كألياف غذائية قريبًا.

إلى الأحماض الأمينية والدهون. ومع ذلك، فإن معظم كربوهيدرات ال جسم تعمل كوقود—مصدر طاقة كيميائية سهل الأكسدة.
تلبى معظم الخلايا احتياجاتها من الطاقة من خلال مزيج من الكربوهيد رات والدهون، لكن بعض الخلايا، مثل الخلايا العصبية وكريات الدم ا لحمراء، تعتمد تقريبًا بشكل حصرى على الكربوهيدرات. حتى فترة ق صيرة من نقص السكر فى الدم)hypoglycemia[3](تسبب اضطرابا ت فى الجهاز العصبى تُشعر بالضعف أو الدوار.
لذلك يتم تنظيم تركيز الجلوكوز فى الدم بعناية، بشكل رئيسى من خلال التفاعل بين الإنسولين والجلوكاجون. من بين تأثيرات أخرى، ت نظم هذه الهرمونات التوازن بين الجليكوجين والجلوكوز الحر. إذا انخف ض تركيز الجلوكوز كثيرًا، يستمد الجسم طاقته من مخازن الجليكوجي ن. وإذا نفدت مخازن الجليكوجين، ينخفض التحمل البدنى بشكل ك بير. لذلك، من المهم تناول كمية كافية من الكربوهيدرات لضمان اح تفاظ الجسم بمخازن كافية من الجليكوجين لفترات التمرين والصيام) بما فى ذلك النوم(.

كما يؤثر تناول الكربوهيدرات على أيض المغذيات الأخرى. عندما تكون مستويات الجلوكوز والجليكوجين منخفضة جدًا لتلبية احتياجاتنا من الطاقة، نقوم بأكسدة الدهون كوقود؛ وعلى العكس، يتم تحويل ا لكربوهيدرات الزائدة إلى دهون. لهذا السبب، يؤثر تناول الأطعمة الن شوية والمحلاة بشكل واضح على وزن الجسم. ومع ذلك، من غير الح كمة محاولة "حرق الدهون" عن طريق تقليل تناول الكربوهيدرات بش كل مفرط. تعتمد الأكسدة الكاملة والفعالة للدهون على تناول كافٍ م ن الكربوهيدرات ووجود بعض الوسطاء فى أيض الكربوهيدرات. إذا كا نت هذه المكونات مفقودة، يتم أكسدة الدهون بشكل غير كامل إلى أ جسام كيتونية، والتى يمكن أن تسبب الحماض الأيضى.

المتطلبات

نظرًا لأن الكربوهيدرات تُؤكسد بسرعة، فإنها مطلوبة بكميات أكبر من أى مغ ذٍ آخر باستثناء الماء. الجرعة اليومية الموصى بها)RDA(لكلا الجنسين حوالى 130 جرامًا. يستهلك الدماغ وحده حوالى 120 جرامًا من الجلوكوز يوميًا. يح صل معظم الأمريكيين على حوالى 40% إلى 50% من سعراتهم الحرارية من الكربوهيدرات، لكن الأشخاص النشطين جدًا يجب أن يحصلوا على ما يصل إلى 60%.

[3] *نقص* = أقل من الطبيعى؛ *جلوكوز* = سكر؛ *إيميا* = حالة الدم

الألياف القابلة للذوبان في الماء تشمل البيكتين وبعض الكربوهي درات الأخرى الموجودة في الشوفان، والفاصوليا، والبازلاء، والجزر، وا لأرز البني، والفواكه. تقلل من مستويات الكوليسترول في الدم ومس تويات البروتين الدهني منخفض الكثافة)LDL( )انظر التعمق 19.4(. الألياف غير القابلة للذوبان في الماء تشمل السليلوز، والهيميسليلوز، واللجنين. يبدو أنها لا تؤثر على مستويات الكوليسترول أو LDL، لكنه ا تمتص الماء وتتضخم، مما يلين البراز ويزيد حجمه بنسبة 40% إلى 100%. هذا التأثير يمد القولون ويحفز التمعج، مما يسرع مرور الفضلا ت. وبهذا، تقلل الألياف غير القابلة للذوبان من خطر الإمساك والتها ب الرتوج.

الدراسات متضاربة فيما إذا كانت الألياف الغذائية لها تأثير واض ح على حدوث سرطان القولون والمستقيم. يمكن أن تكون الألياف الزا ئدة ضارة للصحة من خلال التداخل مع امتصاص الحديد، والكالسيوم، والمغنيسيوم، والفوسفور، وبعض العناصر النزرة.

26.1g الدهون

يبلغ متوسط نسبة الدهون في أجسام الرجال والنساء الشباب الأصحا ء حوالي 15% و25% على التوالي. تمثل الدهون معظم الطاقة المخزن ة في الجسم. كما تلعب كميات أقل من الفسفوليبيد، والكوليسترول، والدهون الأخرى أدوارًا هيكلية وفسيولوجية حيوية.

البالغون الذين يتمتعون بتغذية جيدة يحصلون على 80% إلى 90 % من احتياجاتهم من الطاقة في حالة الراحة من الدهون. الدهون أف ضل من الكربوهيدرات لتخزين الطاقة لسببين:)1(الكربوهيدرات مح بة للماء، تمتص الماء، وبالتالي تتمدد وتشغل مساحة أكبر في الأنسج ة. أما الدهون فهي كارهة للماء، ولا تحتوي تقريبًا على ماء، وهي مادة تخزين طاقة أكثر كثافة.)2(الدهون أقل تأكسدًا من الكربوهيدرات و تحتوي على أكثر من ضعف كمية الطاقة)9 كيلو كالوري/غ من الدهون مقابل 4 كيلو كالوري/غ من الكربوهيدرات(. مخزون الدهون لدى الرج ل المتوسط يحتوي على طاقة تكفي للجري لمدة 119 ساعة، في حين أن مخزون الكربوهيدرات لديه يدوم فقط 1.6 ساعة.

للدهون تأثيرات توفير الجلوكوز و توفير البروتين—طالما أن هناك كمية كافية من الدهون لتلبية احتياجات الطاقة للأنسجة، لا يتم تكسير ا لبروتين لاستخدامه كوقود ويتم توفير الجلوكوز للاستهلاك من قبل الخلا يا التي لا تستطيع استخدام الدهون، مثل الخلايا العصبية.

الفيتامينات أ، د، هـ، وك هي فيتامينات قابلة للذوبان في الدهو ن، وتعتمد على الدهون الغذائية لامتصاصها بواسطة الأمعاء. الأشخا ص الذين يستهلكون أقل من 20 جرامًا من الدهون يوميًا معرضون ل خطر نقص الفيتامينات لأن الدهون في الأمعاء غير كافية لنقل هذه ا لفيتامينات إلى الأنسجة.

الفوسفوليبيدات والكوليسترول هما مكونان هيكليان رئيسيان لأ غشية البلازما والميلين. كما أن الكوليسترول مهم أيضًا كمقدمة لهرمو نات الستيرويد، وأحماض الصفراء، وفيتامين د.

الثرومبوبلاستين، وهو عامل أساسي في تجلط الدم، هو بروتين دهني.

حمضان دهنيان — حمض الأراكيدونيك وحمض اللينوليك — هما مقدما ن للبروستاجلاندينات والإيكوسانويدات الأخرى.

بالإضافة إلى أدواره الأيضية والهيكلية، للدهون وظائف حماية وع زل مهمة موصوفة في الفصل الخامس.

المتطلبات

يجب ألا تتجاوز الدهون 35% من السعرات الحرارية اليومية، ولا يجب أن تتجاوز الدهون المشبعة 10% من إجمالي استهلاك الدهون.

الاستهلاك المفرط للدهون المشبعة وغير المشبعة هو عامل خطر للإصابة بمرض السكري، وأمراض القلب والأوعية الدموية، وسرطان الثدي والقولو ن. يستهلك الأمريكي العادي من 30 إلى 150 جرامًا من الدهون يوميًا ويح صل على 40% إلى 50% من سعراته الحرارية من الدهون.

السكريات الثنائية الغذائية الرئيسية الثلاثة هي السكروز، اللاكتوز، والمالتوز. السكريات الأحادية الرئيسية هي الجلوكوز، الجالاكتوز، وال فركتوز، والتي تنشأ بشكل رئيسي من هضم النشا والسكريات الثنائية . يقوم الأمعاء الدقيقة والكبد بتحويل الفركتوز والجالاكتوز إلى جلوكوز، لذا في النهاية ينتج عن هضم الكربوهيدرات جلوكوز. خارج نظام البوا بة الكبدية، الجلوكوز هو السكر الأحادي الوحيد الموجود في الدم بكميا ت كبيرة؛ وبالتالي يُعرف باسم *سكر الدم*. يتم الحفاظ على تركيزه عاد ةً بين 70 إلى 110 ملغ/ديسيلتر في الدم الوريدي المحيطي.

▶▶▶ طبق ما تعرفه

تركيز الجلوكوز في الدم الشرياني أعلى بحوالي 15 إلى 30 ملغ/ديسيلتر مقارنة بمعظم الدم الوريدي. اشرح السبب.

يمكن التعبير عن تأثير الكربوهيدرات الغذائية على مستوى جلوكو ز الدم بمؤشر نسبة السكر في الدم)GI(. يتم تعيين تأثير تناول 50 جرا مًا من الجلوكوز على مستوى جلوكوز الدم خلال الساعتين التاليتين ع ند 100، ويتم التعبير عن تأثيرات الكربوهيدرات الأخرى بالمقارنة مع هذا. على سبيل المثال، الكربوهيدرات التي لها مؤشر GI بقيمة 50 ستنتج نصف تأثير الجلوكوز النقي.

الكربوهيدرات ذات مؤشر GI ≥مرتفع)70(تُهضم وتمتص بسرعة و ترفع مستوى جلوكوز الدم بسرعة. توجد هذه الكربوهيدرات، على سبي ل المثال، في الخبز الأبيض، الأرز الأبيض، البطاطس البيضاء المخبوز ة، والعديد من حبوب الإفطار المصنعة. الكربوهيدرات ذات GI مرتفع تحفز طلبًا عاليًا على الأنسولين وتزيد من خطر السمنة ومرض السكر ي من النوع الثاني. الكربوهيدرات ذات مؤشر GI ≤منخفض)55(تُه ضم ببطء أكثر وترفع مستوى جلوكوز الدم تدريجيًا. وتشمل هذه الكر بوهيدرات الموجودة في معظم الفواكه والخضروات، والبقوليات، والح ليب، والخبز والمعكرونة الحبوبية. ومع ذلك، يختلف مؤشر نسبة الس كر في الدم للطعام المعين من شخص لآخر وحتى في نفس الشخص من يوم لآخر، ويعتمد أيضًا على طريقة طهي الطعام.

من الناحية المثالية، يجب أن يكون معظم تناول الكربوهيدرات ع لى شكل نشا. ويرجع ذلك جزئيًا إلى أن الأطعمة التي توفر النشا عادةً ما توفر أيضًا مغذيات أخرى. السكريات البسيطة لا توفر فقط سعرات حرارية فارغة بل تعزز أيضًا تسوس الأسنان. ومع ذلك، يحصل الأمري كيون عادةً الآن على 50% فقط من كربوهيدراتهم من النشا والـ 50% الأخرى من السكروز وشراب الذرة.

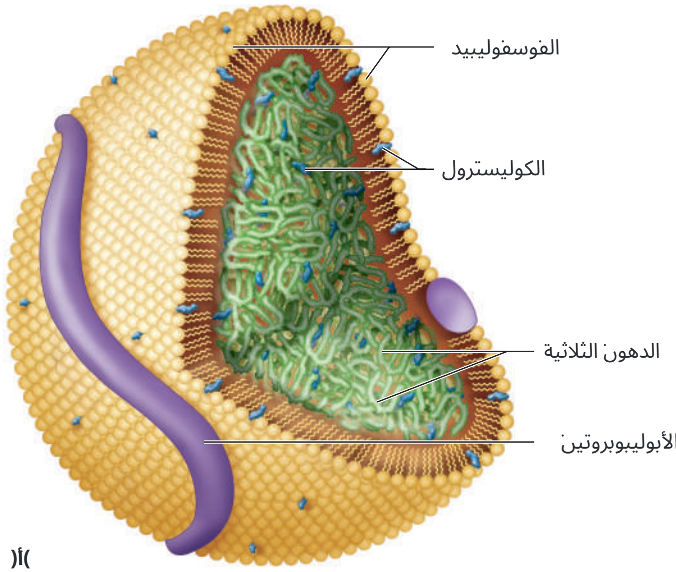
المصادر الغذائية

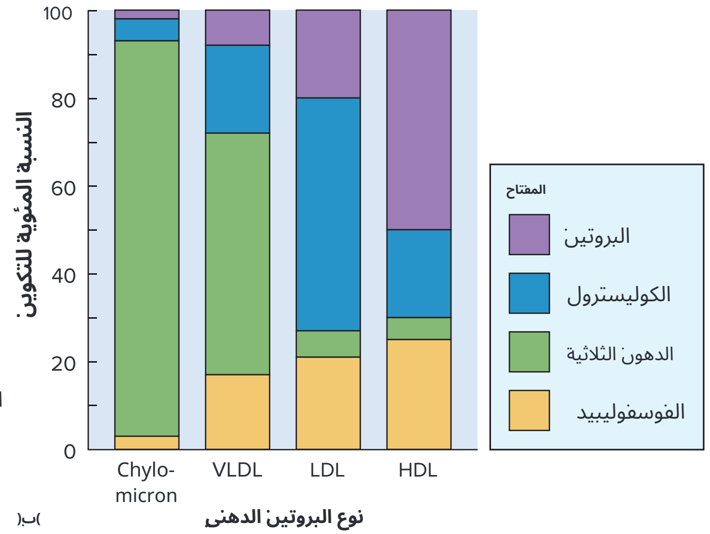
تقريبًا جميع الكربوهيدرات الغذائية تأتي من النباتات—وخاصة الحبو ب، والبقوليات، والفواكه، والخضروات الجذرية. يتم تكرير السكروز م ن قصب السكر وبنجر السكر. الفركتوز موجود في الفواكه، والعسل، و شراب الذرة. المالتوز موجود في بعض الأطعمة مثل الحبوب النابتة. ا للاكتوز هو المذاب الأكثر وفرة في حليب البقر)والذي يحتوي على حوا لي 4.6% لاكتوز بالوزن(.

26.1f الألياف

الألياف الغذائية تشير إلى كل المواد الليفية من أصل نباتي وحيواني التي تقاوم الهضم. معظمها من المواد النباتية—الكربوهيدرات مثل السليلوز وا لبيكتين وبعض غير الكربوهيدرات مثل الصمغ واللجنين. على الرغم من أ نها ليست مغذيات، إلا أن الألياف مكون أساسي في النظام الغذائي.

الكمية الموصى بها من الألياف هي حوالي 25 جرامًا للإناث و38 جرامًا للذكور ، لكن متوسط الاستهلاك يختلف كثيرًا من بلد إلى آخر—من 40 إلى 150 جر امًا يوميًا في الهند وأفريقيا إلى 12 جرامًا فقط يوميًا في الولايات المتحدة.





الشكل 26.3 البروتينات الدهنية في المصل.)أ(تركيب البروتين الدهني.)ب(تركيب الدهون والبروتين لفئات البروتينات الدهنية.

الكوليسترول والدهون الثلاثية وطبقة خارجية من الفسفوليبيدات و *الأبوليبوبروتين*)الشكل 26.3أ(. الفسفوليبيدات تمكن البروتينات الدهنية من البقاء معلقة في الدم. تساعد الأبوليبوبروتينات في تكوين البروتينات الدهنية، تثبتها، وتعمل كعلامات تعرف للخلايا التي تمتص شحنتها الدهنية. غالبًا ما يُشار إلى هذه المركبات باسم *البروتينات الدهنية في المصل* لأن تركيزاتها تعبر بوحدة حجم مصل الدم، وليس الدم الكامل.

تصنف البروتينات الدهنية إلى أربع فئات رئيسية)وبعض الفئات الأقل(حسب كثافتها: الكيلوميكرونات، البروتينات الدهنية عالية الكثافة)HDLs(، البروتينات الدهنية منخفضة الكثافة)LDLs(، و البروتينات الدهنية منخفضة الكثافة جدًا)VLDLs( )الشكل 26.3ب(. كلما زادت نسبة الدهون إلى البروتين، انخفضت الكثافة؛ وهذا سهل التذكر إذا أخذت في الاعتبار أن الزيت والدهون يطفوان على الماء بسبب كثافتهما المنخفضة نسبيًا. تختلف هذه الجسيمات أيضًا بشكل كبير في الحجم: تتراوح الكيلوميكرونات من 75 إلى 1200 نانومتر في القطر، لكن الأخرى تتناقص في الحجم من VLDLs)30–80 نانومتر(، إلى LDLs)18–25 نانومتر(، إلى HDLs)5–12 نانومتر(. ومع ذلك، فإن أهم اختلافاتها هي في التركيب والوظيفة.

يوضح الشكل 26.4 المسارات الثلاثة الأساسية التي يتم من خلالها تصنيع ومعالجة البروتينات الدهنية في الدم. تتكون الكيلوميكرونات في خلايا الامتصاص في الأمعاء الدقيقة ثم تمر إلى الجهاز اللمفاوي وفي النهاية إلى مجرى الدم. تحتوي خلايا البطانة في الشعيرات الدموية على إنزيم سطحي يسمى ليبوبروتين ليباز الذي يحلل الدهون الثلاثية في الكيلوميكرونات إلى أحادي الغليسريد والأحماض الدهنية الحرة)FFAs(. يمكن لهذه المنتجات بعد ذلك المرور عبر جدران الشعيرات إلى الخلايا الدهنية، حيث يتم إعادة تركيبها إلى دهون ثلاثية مخزنة. ومع ذلك، تبقى بعض الأحماض الدهنية الحرة في بلازما الدم مرتبطة بالألبومين. يتم إزالة ما تبقى من الكيلوميكرون بعد استخراج الدهون الثلاثية، المسمى *بقايا الكيلوميكرون* ويتم تحلله بواسطة الكبد.

تنتج الكبد البروتينات الدهنية منخفضة الكثافة جدًا)VLDLs(التي تنقل الدهون إلى الأنسجة الدهنية للتخزين. يتم تصنيع الدهون الثلاثية في هذه البروتينات من الجلوكوز بواسطة الكبد. عندما تكون الدهون الثلاثية الخاصة بها

من المهم أن تتضمن الحمية أحماضًا دهنية أساسية — سميت بذلك لأن الجسم لا يستطيع تصنيعها من مقدّمات أخرى وبالتالي يجب الحصول عليها من الطعام. تشمل هذه حمض اللينوليك وربما حمض اللينولينيك والأراكيدونيك؛ وهناك اختلافات في الرأي حول قدرة الجسم على تصنيع الأخيرين. طالما أن 1% إلى 2% من إجمالي الطاقة المستهلكة تأتي من حمض اللينوليك، لا يظهر الأشخاص علامات نقص الأحماض الدهنية الأساسية. في النظام الغذائي الغربي النموذجي، يوفر حمض اللينوليك حوالي 6% من السعرات الحرارية. يمكن تصنيع أحماض دهنية أخرى في الجسم إذا كانت مفقودة من النظام الغذائي.

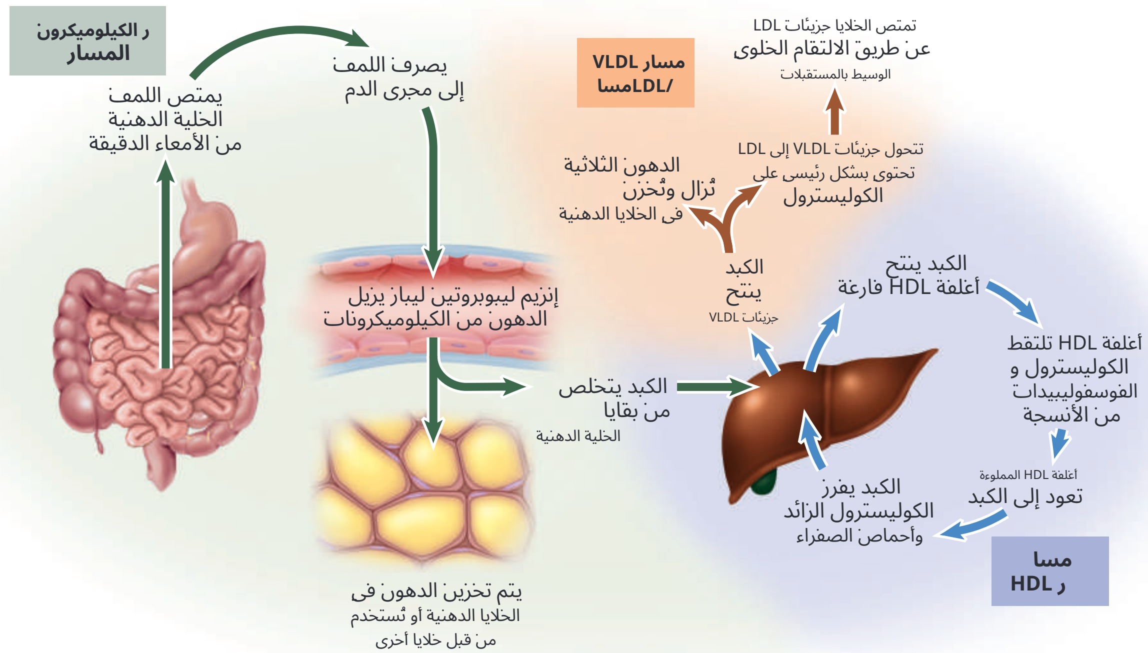
المصادر

الدهون المشبعة هي في الغالب من أصل حيواني. توجد في اللحوم وصفار البيض ومنتجات الألبان، ولكنها توجد أيضًا في بعض المنتجات النباتية مثل زيوت جوز الهند والنخيل)الشائعة في الكريمات القهوة غير الألبانية وغيرها من المنتجات(. الأطعمة المصنعة مثل الزيوت المهدرجة \وزيوت الخضروات المختصرة تحتوي أيضًا على نسبة عالية من الدهون المشبعة، والتي تكون بالتالي وفيرة في العديد من المخبوزات. الدهون غير المشبعة تسود في المكسرات والبذور ومعظم زيوت النباتات. الأحماض الدهنية الأساسية تتوفر بكثرة في زيوت النباتات في المايونيز، والعديد من صلصات السلطة، والسمن النباتي، وكذلك في الحبوب الكاملة والخضروات.

أغنى مصدر للكوليسترول هو صفار البيض، لكنه موجود أيضًا بشكل شائع في منتجات الحليب؛ والمحاريات)خاصة الجمبري(؛ والأعضاء مثل الكلى والكبد والدماغ؛ وأنواع أخرى من لحوم الثدييات. الأطعمة ذات الأصل النباتي تحتوي فقط على آثار ضئيلة من الكوليسترول. مستوى الكوليسترول في المصل يتأثر بشدة بأنواع وكميات الأحماض الدهنية في النظام الغذائي.

الكوليسترول والليبoproteins في المصل

الدهون)الليبيدات(جزء مهم من النظام الغذائي ويجب نقلها إلى جميع خلايا الجسم، لكنها كارهة للماء ولا تذوب في بلازما الدم المائية. يتم التغلب على هذه المشكلة بواسطة مركبات تسمى البروتينات الدهنية — وهي قطرات صغيرة ذات نواة من



الشكل 26.4 معالجة الليبوبروتين. مسارات معالجة الكيلوميكرونات، VLDL/LDL، وHDL.

لماذا تكون نسبة HDL:LDL العالية أكثر صحة من نسبة LDL:HDL العالية؟

أنه يحتوي على أحماض دهنية مشبعة قد ترفع مستوى الكوليسترول لدى المستهلك على أي حال. يمكن لتقليل معتدل في تناول الأحماض الدهنية المشبعة أن يخفض الكوليسترول في الدم بنسبة 15% إلى 20% — وهو أكثر فعالية بكثير من تقليل الكوليسترول الغذائي نفسه. حمض اللينوليك، وهو حمض دهني غير مشبع، له تأثير خافض للكوليسترول.

التمارين الرياضية المكثفة تخفض أيضًا مستويات الكوليسترول في الدم. الآلية معقدة بعض الشيء: تقلل التمارين من حساسية الأذ ين الأيمن للقلب تجاه ضغط الدم، مما يجعل القلب يفرز كمية أقل م ن الببتيد المدر للبول. ونتيجة لذلك، تفرز الكلى كمية أقل من الصود يوم والماء، ويرتفع حجم الدم. هذا يخفف من تركيز البروتينات الدهنية في الدم، وتعوض الخلايا الدهنية عن ذلك بإنتاج المزيد من إنزيم ليبو بروتين ليباز. لذلك تستهلك الخلايا الدهنية المزيد من ثلاثي الغليسريد ات في الدم. هذا يؤدي إلى تصغير جزيئات VLDL، التي تفقد بعضًا م ن كوليسترولها في هذه العملية، وتلتقط جزيئات HDL هذا الكوليس ترول الحر لإزالته بواسطة الكبد.

الكوليسترول في الدم ليس المقياس الوحيد المهم لتركيزات الده ون الصحية. ارتفاع تركيز LDL هو علامة تحذير لأنه، كما هو موضح في وظيفة LDL سابقًا، يشير إلى معدل عالٍ لترسيب الكوليسترول في ا لشرايين. في وسائل الإعلام الشعبية، غالبًا ما يُطلق على LDL اسم "ا لكوليسترول الضار" — وهو تعبير مضلل، لأن هذه البروتينات الدهنية تتكون من أكثر من مجرد كوليسترول، وهناك نوع واحد فقط من الكو ليسترول، الذي يفيد الجسم أكثر مما يضر. ترتفع مستويات LDL لي س فقط بسبب الدهون المشبعة، بل أيضًا بسبب التدخين، والقهوة، والتوتر. نسبة عالية من HDL — ما يسمى "الكوليسترول الجيد" — مفيدة لأنها تشير إلى أن الكوليسترول يُزال من الشرايين وينقل إلى ا لكبد للتخلص منه. لذلك من المرغوب زيادة نسبة HDL إلى LDL.

أفضل طريقة لتحقيق ذلك هي اتباع نظام غذائي منخفض السعرات والدهون المش بعة، ويُعزز ذلك بممارسة التمارين الهوائية بانتظام.

عندما تُزال في الأنسجة الدهنية، تتحول جزيئات VLDL إلى LDL وتحتوي في الغالب على الكوليسترول. تمتص الخلايا التي تحتاج إلى الكوليسترول)عادةً لبناء الغشاء أو لتخليق هرمونات الستيرويد(جزيئات LDL عن طريق الالتقام الخلوي المتوسط بالمستقبلات، ثم تهضمها بواسطة إنزيمات الل يسوسوم، وتطلق الكوليسترول لاستخدامه داخل الخلية.

يبدأ إنتاج HDL في الكبد، الذي ينتج غلافًا بروتينيًا فارغًا ومطويًا. يسافر هذا الغلاف في الدم ويلتقط الكوليسترول والفوسفوليبيدات م ن الأعضاء الأخرى.

في المرة التالية التي يدور فيها عبر الكبد، يزيل الكبد الكوليسترول وي طرده في الصفراء إما على شكل كوليسترول أو أحماض صفراوية. لذل ك، تُعتبر جزيئات HDL وسيلة لإزالة الكوليسترول الزائد من الجسم.

من المرغوب الحفاظ على تركيز كوليسترول إجمالي في بلازما الد م لا يتجاوز 200 ملغ/ديسيلتر. يُعتبر من 200 إلى 239 ملغ/ديسيلتر م ستوى حدودي مرتفع، والمستويات التي تبلغ 240 ملغ/ديسيلتر أو أك ثر تُعد مرضية. معظم كوليسترول الجسم هو داخلي التكوين)يُصنع دا خليًا(وليس من النظام الغذائي، ويعوض الجسم عن التغيرات في تناو ل الغذاء. تناول كميات عالية يقلل من تخليق الكوليسترول في الكبد، في حين أن تناول كميات منخفضة يزيده. لذلك، فإن تقليل الكوليس ترول الغذائي له تأثير ضئيل على مستويات الكوليسترول في الدم. أظ هرت الدراسات الحديثة عدم وجود علاقة بين تناول الكوليسترول الغذ ائي ومستويات الكوليسترول في المصل، وقد تم تجاهل الكوليسترو ل الغذائي مؤخرًا كعامل مقلق للصحة العامة.

الأهم من ذلك هو أن بعض الأحماض الدهنية المشبعة)SFAs(ترفع مستوى الكوليسترو ل في المصل. على سبيل المثال، حمض البالمتيك، وهو حمض دهني مشبع مكون من 16 ذرة كربون، يرفع مستوى الكوليسترول في المصل عن طريق منع امتصاصه من قبل الأنسجة)بينم ا حمض الستيريك، وهو حمض دهني مشبع مكون من 18 ذرة كربون، لا يرفعه(.

بعض الإعلانات الغذائية مضللة في هذا الصدد. قد تعلن بصراحة أن ا لطعام خالٍ من الكوليسترول، لكنها تغفل ذكر

البروتين القابل للاستخدام يعادل 115 جرامًا)حوالي 4 أونصات(من لحم الهامبرغر ال خالي من الدهون. ومع ذلك، فإن تقليل تناول اللحوم وزيادة تناول النباتات له فوائد. من بين الاعتبارات الأخرى، توفر الأطعمة النباتية المزيد من الفيتامينات، المعادن ، والألياف؛ ودهون مشبعة أقل؛ ولا تحتوي على الكوليسترول؛ وتحتوي على مبيدا ت حشرية أقل. في عالم يزداد ازدحامًا، يجب أيضًا أن يؤخذ في الاعتبار أنها تتطل ب مساحة أكبر بكثير من الأراضي)وغالبًا ما تؤدي إلى تدمير المواطن الطبيعية(لإ نتاج اللحوم مقارنة بإنتاج المحاصيل الغذائية.

المصادر الغذائية

تتطابق البروتينات الحيوانية الموجودة في اللحوم والبيض ومنتجات ا لألبان بشكل وثيق مع بروتينات الإنسان من حيث تركيب الأحماض ا لأمينية. وبالتالي، توفر المنتجات الحيوانية بروتينًا كاملاً عالي الجودة، في حين أن البروتينات النباتية غير كاملة. ومع ذلك، لا يعني هذا أن بروتينك الغذائي يجب أن يأتي من اللحوم؛ في الواقع، يحصل حوالي ثلثا سكان العالم على تغذية بروتينية كافية من أنظمة غذائية تحتوي ع لى القليل جدًا من اللحوم. يمكننا دمج الأطعمة النباتية بحيث يكمل أ حدها ما ينقص الآخر — على سبيل المثال، الفاصوليا والأرز هما تركي بة تكميلية من البقوليات والحبوب. توفر الفاصوليا الإيزوليوسين واللا يسين الناقصين في الحبوب، بينما يوفر الأرز التريبتوفان والسيستين الناقصين في الفاصوليا.

توازن النيتروجين

البروتينات هي المصدر الغذائي الرئيسي للنيتروجين لدينا.توازن الني تروجين هو حالة يكون فيها معدل تناول النيتروجين مساويًا لمعدل إخ راجه)خاصةً كنفايات نيتروجينية في البول(.
يُظهر الأطفال النامون حالة توازن نيتروجين إيجابي لأنهم يتناولون أك ثر مما يفرزون، وبالتالي يحتفظون بالبروتين لنمو الأنسجة. كما تظهر ا لنساء الحوامل والرياضيون في تدريبات المقاومة توازن نيتروجين إيجا بي. عندما يتجاوز الإخراج التناول، يكون الشخص في حالة توازن نيترو جين سلبي. هذا يشير إلى أن بروتينات الجسم تتحلل وتُستخدم كوقود . بروتينات العضلات والكبد تتحلل بسهولة أكثر من غيرها؛ لذلك، ير تبط توازن النيتروجين السلبي عادةً بضمور العضلات. قد يحدث توازن نيتروجين سلبي إذا كان تناول الكربوهيدرات والدهون غير كافٍ لتلبية الحاجة إلى الطاقة. يُقال إن الكربوهيدرات والدهون لها تأثير توفير ال بروتين لأنها تمنع تحلل البروتين عندما تكون موجودة بكميات كافية ل تلبية احتياجات الطاقة.

يتأثر توازن النيتروجين ببعض الهرمونات. هرمون النمو والستيرو يدات الجنسية تعزز تخليق البروتين وتوازن النيتروجين الإيجابي خلال الطفولة والمراهقة والحمل.
من ناحية أخرى، تعزز الجلوكوكورتيكويدات تحلل البروتين وتوازن الني تروجين السلبي في حالات الإجهاد.

 طبق ما تعرفه

هل تتوقع أن يكون الشخص الذي يتعافى من مرض معدي طوي ل في حالة توازن نيتروجين إيجابي أم سلبي؟ ولماذا؟

26.1i المعادن والفيتامينات

المعادن والفيتامينات لا تُستخدم كوقود، لكن كلاهما ضروري لقدرتنا ع لى استخدام المغذيات الأخرى. باستثناء بعض الفيتامينات القليلة، لا يم كن للجسم تصنيع هذه المغذيات ويجب تضمينها في النظام الغذائي.

26.1س البروتينات

تشكل البروتينات حوالي 12% إلى 15% من كتلة الجسم؛ 65% منها موجودة في العضلات الهيكلية. البروتينات مسؤولة عن انقباض الع ضلات وحركة الأهداب والأسواط. وهي مكون هيكلي رئيسي لجميع أغ شية الخلايا، مع أدوار متعددة مثل مستقبلات الغشاء، المضخات، ق نوات الأيونات، وعلامات هوية الخلية. البروتينات الليفية مثل الكولاج ين، الإيلاستين، والكيراتين تشكل جزءًا كبيرًا من هيكل العظام، الغضا ريف، الأوتار، الأربطة، الجلد، الشعر، والأظافر. تشمل البروتينات الكرو ية الأجسام المضادة، الهرمونات، المنظمات العصبية، الهيموغلوبين، الميوغلوبين، وحوالي 2000 إنزيم تتحكم في كل جانب تقريبًا من اس تقلاب الخلايا. كما تشمل الألبومين وبروتينات البلازما الأخرى التي تح افظ على لزوجة الدم وتركيزه الأسموزي وتنقل الدهون وبعض المذابا ت الأخرى في البلازما. تعمل البروتينات كعازلات للحموضة في سوائ ل الجسم وتساهم في الجهد الكهربائي الراكد لجميع الخلايا. لا توجد فئة أخرى من الجزيئات الحيوية تمتلك مثل هذا التنوع الواسع من الو ظائف.

المتطلبات

بالنسبة للبالغين ذوي الوزن المتوسط، فإن الجرعة اليومية الموصى بها من ا لبروتين تتراوح بين 46 إلى 56 جرامًا، اعتمادًا على العمر والجنس. بضرب وز نك بالرطل في 0.37 أو وزنك بالكيلوغرام في 0.8، يمكنك الحصول على تقد ير للجرعة اليومية الموصى بها من البروتين بالغرامات. ومع ذلك، يُنصح بزياد ة الاستهلاك في حالات التمارين الشديدة، والتوتر، والعدوى، والإصابة، والحم ل. يحتاج الرضع والأطفال إلى كمية أكبر من البروتين مقارنة بالبالغين نسبةً إ لى وزن الجسم. ومع ذلك، فإن تناول كميات مفرطة من البروتين يُثقل كاهل الكلى بالنفايات النيتروجينية وقد يسبب تلفًا كلويًا. وهذا يشكل خطرًا في بع ض الحميات الغذائية عالية البروتين التي تعتمد على الصيحات.

ليس تناول البروتين الكلي هو المقياس الوحيد المهم لكفاية النظ ام الغذائي. تعتمد القيمة الغذائية للبروتين على ما إذا كان يزود الأحما ض الأمينية الصحيحة بالنسب اللازمة لبناء بروتينات الإنسان. يمكن للبالغين تخليق 12 من أصل 20 حمضًا أمينيًا من مركبات عضوية أخ رى عندما لا تتوفر في النظام الغذائي، ولكن هناك 8 أحماض أمينية أ ساسية لا يمكننا تخليقها: الإيزوليوسين، الليوسين، الليسين، الميثيو نين، الفينيل ألانين، الثريونين، التريبتوفان، والفالين.)كما يحتاج الر ضع إلى الهيستيدين.(بالإضافة إلى ذلك، يمكن تخليق حمضين أمين يين فقط من الأحماض الأمينية الأساسية: السيستين من الميثيونين والتيروزين من الفينيل ألانين. أما العشرة الأخرى)التسعة في الرضع(فتسمى الأحماض الأمينية غير الأساسية — ليس لأن الجسم لا يح تاجها، بل لأنه يستطيع تخليقها بنفسه عندما لا يوفرها النظام الغذائي.

عندما يتم تصنيع البروتين، يجب أن تكون جميع الأحماض الأمي نية اللازمة موجودة في نفس الوقت؛ إذا كان هناك حتى حمض أميني واحد مفقود، فلا يمكن تصنيع البروتين. البروتينات عالية الجودة الكا ملة هي تلك التي توفر جميع الأحماض الأمينية الأساسية بالنسب اللا زمة لنمو أنسجة الإنسان، وصيانتها، وتوازن النيتروجين. البروتينات م نخفضة الجودة غير الكاملة تفتقر إلى حمض أميني أساسي واحد أو أ كثر. على سبيل المثال، الحبوب منخفضة في الليسين والبقوليات م نخفضة في الميثيونين.

يتم أيضًا تحديد جودة البروتين من خلال صافي استخدام البروتين—ال نسبة المئوية للأحماض الأمينية في البروتين التي يستخدمها جسم الإنسان. عادةً ما نستخدم 70٪ إلى 90٪ من البروتين الحيواني ولكن فقط 40٪ إلى 70 ٪من البروتين النباتي. لذلك، يتطلب الأمر حصة أكبر من البروتين النباتي م قارنة بالبروتين الحيواني لتلبية احتياجات الفرد—على سبيل المثال، نحتاج إ لى 400 جرام)حوالي 14 أونصة(من الأرز والفاصوليا لتوفير نفس الكمية

طلب تناولها بكميات صغيرة نسبيًا، ولذلك تُصنف كمغذيات دقيقة. ومع ذل
ك، لها تأثيرات قوية جدًا على الفسيولوجيا. في الواقع، الكميات الزائدة منها
سامة وقد تكون قاتلة.

لم يتم تحديد القيم اليومية الموصى بها)RDAs(بشكل قاطع لجم
يع الفيتامينات والمعادن. القيم في الجداول التالية هي RDAs حيثما كا
نت معروفة، ولكن حيث لم يتم تحديد RDA بشكل قاطع، فهي تمثل م
قاييس المدخول الكافي)AI(كما تم شرحه سابقًا. القيم المدرجة هي لل
بالغين الأصحاء المتوسطين من عمر 19 إلى 50 سنة.

المعادن

المعادن هي عناصر كيميائية)معظمها معادن(تستخلصها النباتات م
ن التربة أو الماء وتدخلها في الشبكة الغذائية. تشكل حوالي 4% من
كتلة الجسم، مع ثلاثة أرباع هذه النسبة من الكالسيوم والفوسفور في ا
لعظام والأسنان. الفوسفور هو أيضًا مكون هيكلي رئيسي للفوسفولي
بيدات، والحمض النووي DNA، والحمض النووي الريبوزي RNA، وجز
يئات الطاقة مثل ATP، وcAMP، وGTP، وفوسفات الكرياتين، وهو أ
ساس نظام عازلة الفوسفات)انظر الفصل 24(. يعمل الكالسيوم والح
ديد والمغنيسيوم والمنغنيز كعوامل مساعدة للإنزيمات. الحديد ضرور
ي لقدرة الهيموغلوبين والمايوغلوبين على حمل الأكسجين.
الكلور هو مكون من حمض المعدة)HCl(. العديد من أملاح المعادن
تعمل كإلكتروليتات وتتحكم في وظيفة خلايا الأعصاب والعضلات، و
تنظم أسموزيًا محتوى وتوزيع الماء في الجسم، وتحافظ على حجم الدم
)انظر الفصل 24(.
الجدول 26.2 يلخص متطلبات المعادن للبالغين ومصادرها الغذا
ئية. بشكل عام، أفضل مصادر المعادن هي الخضروات، والبقوليات،
والحليب، والبيض، والأسماك، والمحاريات، وبعض اللحوم الأخرى. ا
لحبوب الكاملة مصدر فقير نسبيًا، لكن الحبوب المعالجة غالبًا ما تكو
ن مدعمة بالمعادن.
على مر التاريخ، كان كلوريد الصوديوم)الملح(سلعة ثمينة ونقمة
في آن واحد. تحتوي أنسجة الحيوانات على كميات كبيرة نسبيًا من الم
لح، ونادرًا ما يفتقر آكلو اللحوم إلى الملح في وجباتهم الغذائية. أما الن
باتات فهي فقيرة نسبيًا بالملح، لذا غالبًا ما يضطر آكلو النباتات إلى
تعويض نظامهم الغذائي بتناول الملح من التربة.
مع تطور الزراعة واعتماد البشر بشكل أكبر على النباتات، أصبحوا أيضًا
يعتمدون بشكل متزايد على الملح التكميلي. كان الملح يُستخدم سا
بقًا كشكل شائع للدفع مقابل السلع والخدمات — كلمة "راتب")sala
ry(تأتي من كلمة "sal")الملح(. حبنا للملح وحساسي
تنا العالية له بلا شك تنبع من أهميته الفسيولوجية وندرته في النظام ا
لغذائي النباتي إلى حد كبير.
ما إذا كان تناول الملح مرتبطًا بشكل كبير بارتفاع ضغط الدم وأمر
اض القلب كان موضوع جدل كبير لعقود. الكلى قادرة بشكل ملحوظ
على إخراج الملح الزائد، وقد وجدت دراسات متعددة عدم وجود خطر
مرتفع لارتفاع ضغط الدم لدى الأشخاص الأصحاء الذين يتبعون حميا
ت عالية الملح. ومع ذلك، يعارض بعض الباحثين هذا الرأي. أكبر قلق
بشأن تناول الملح ينشأ للمرضى الذين يعانون من قصور كلوي، والس
كري، وارتفاع ضغط الدم، والأشخاص ذوي الحساسية الوراثية المرتفع
ة للملح. ارتفاع ضغط الدم هو سبب رئيسي للوفاة بين الأمريكيين ال
سود، على سبيل المثال، الذين لديهم ضعف خطر الإصابة بارتفاع ضغ
ط الدم وعشرة أضعاف خطر الوفاة منه مقارنة بالأمريكيين البيض. نظ
رية تطورية لذلك هي أن الأشخاص من أصول غرب أفريقيا، والتي ت
شمل غالبية الأمريكيين السود، لديهم كلى تميل بشكل خاص إلى الا
حتفاظ بالملح. بالنسبة للبالغين الأصحاء الذين لا يعانون من فرط الح
ساسية للملح، توصي الأكاديمية الطبية بتناول يومي من الصوديوم ي
بلغ 1.5 جرام/يوم وحدًا أقصى 2.3 جرام/يوم.

الجدول 26.2 متطلبات المعادن، بعض المصادر الغذائية

بعض المصادر الغذائية*	المدخول الغذائي الموصى به/المدخول الكافي، الإناث	الذكور	المعادن
المعادن الرئيسية			
اللحم الأحمر، الدواجن، الأسماك، الحبوب، السبانخ، القرع، الموز، المشمش، الطماطم، عصير البرتقال، الفاصوليا، البازلاء، المكسرات	4700 ملغ	4700 ملغ	البوتاسيوم
ملح الطعام، بعض الخضروات؛ عادة ما يكون موجودًا بكمية زائدة	2300 ملغ	2300 ملغ	الكلوريد
ملح الطعام، الأطعمة المصنعة، بياض البيض، الميسو؛ عادة ما يكون موجودًا بكمية زائدة	1500 ملغ	1500 ملغ	الصوديوم
الحليب، الجبن، السمك، المحار، الخضروات الورقية، التوفو، عصير البرتقال، الحبوب المدعمة	1000 ملغ	1000 ملغ	الكالسيوم
اللحم الأحمر، الدواجن، السمك، ال بيض، الحليب، البقوليات، الحبوب الكام لة، المكسرات	700 ملغ	700 ملغ	الفوسفور
الحليب، الخضروات الورقية، ال حبوب الكاملة، المكسرات، البقوليا ت، الشوكولاتة الداكنة	310–320 ملغ	400–420 ملغ	المغنيسيوم
المعادن النزرة			
اللحم الأحمر، المأكولات البحرية، المكسرات، جنين القمح، البقوليات، الحبوب، الخميرة	8 ملغ	11 ملغ	الزنك
اللحم الأحمر، الكبد، المحار، البيض، الفواكه المجففة، المكسرات، البقوليات، دبس السكر	15 ملغ	8 ملغ	الحديد
الماء المفلور ومعجون الأسنان، الشاي، المأكولات البحرية، الأعشاب البحرية	3 ملغ	4 ملغ	الفلورايد
الخضروات الورقية، الفواكه، البقوليات، الحبوب الكاملة، المكسرات	1.8 ملغ	2.3 ملغ	المنغنيز
اللحم الأحمر، الكبد، المحار، البقوليات، الحبوب الكاملة، المكسرات، الكاكاو	900 ميكروغرام	900 ميكروغرام	النحاس
أسماك البحر، زيوت الأسماك، المحار، الملح المعالج باليود	150 ميكروغرام	150 ميكروغرام	اليود
اللحوم الحمراء، لحوم الأعضاء، الأسماك، المحار، البيض، الحبوب	55 ميكروغرام	55 ميكروغرام	السيلينيوم
الفاصوليا، الحبوب الكاملة، المكسرات	45 ميكروغرام	45 ميكروغرام	الموليبدينوم
اللحوم، الكبد، الجبن، البيض، الحبوب الكاملة، الخميرة، النبيذ	25 ميكروغرام	35 ميكروغرام	الكروم

*يشير مصطلح "اللحم الأحمر" إلى عضلات الثدييات مثل لحم البقر ولحم الخنزير. ويشير "لحم الأعضاء" إلى الدماغ، البنكرياس، القلب، الكلى، إلخ. يتم تحديد الكبد بشكل منفصل ويشير إلى أكباد البقر، الخنزير، والدجاج، والتي تتشابه في معظم العناصر الغذائية.

)الصوديوم فقط؛ هذا يعادل 5.8 جرام من NaCl(. متوسط تناول الأمر
يكيين حوالي 3.4 جرام/يوم)8.5 جرام NaCl(، حوالي 77% منها يأتي
من الأطعمة المعلبة والمملحة والمطاعم.

للإنزيمات تحفيز هذه التفاعلات. تظهر بعض وظائفها لاحقًا فى هذا ا
لفصل عند مناقشة أيض الكربوهيدرات.
الفيتامينات القابلة للذوبان فى الدهون تُدمج فى الميسيلات الد
هنية فى الأمعاء الدقيقة وتُمتص مع الدهون الغذائية. تختلف وظائفه
ا أكثر من الفيتامينات القابلة للذوبان فى الماء. فيتامين A هو مكون
من أصباغ الرؤية ويعزز تخليق البروتيوغليكان وصيانة الطهارة. فيتامي
ن D يعزز امتصاص الكالسيوم وتَحَجُّر العظام. فيتامين K ضرورى لتخ
ليق البروثرومبين وتجلط الدم. فيتامينات A وE هى مضادات أكسدة،
مثل حمض الأسكوربيك.
من المعروف أن العديد من الأمراض تنتج عن نقص الفيتامينات
، ولكن من الأقل شهرة أن فرط الفيتامينات)زيادة الفيتامينات(يس
بب أيضًا أمراضًا. على سبيل المثال، يمكن أن يؤدى نقص فيتامين أ إ
لى العمى الليلى، وجفاف الجلد والشعر، وجفاف الملتحمة وعتامة القر
نية، وزيادة حدوث التهابات المسالك البولية والهضمية والتنفسية. ه
ذا هو أكثر نقص فيتامين شيوعًا فى العالم. ومع ذلك، قد يسبب فرط
فيتامين أ فقدان الشهية، والغثيان والقىء، والصداع، وألم وهشاشة ا
لعظام، وتساقط الشعر، وتضخم الكبد والطحال، وتشوهات خلقية. كم
ا تم ربط فيتامينات ب6، ح، د، وه بفرط الفيتامينات السامة.

يأخذ بعض الناس*الفيتامينات الفائقة الجرعة*—جرعات تتراوح بين 1
0 إلى 1000 مرة من الجرعة اليومية الموصى بها—معتقدين أنها ستحسن
الأداء الجسدى. ونظرًا لأن الفيتامينات لا تُحترق كوقود، وأن كميات صغ
يرة تلبى تمامًا الاحتياجات الأيضية للجسم، فلا يوجد دليل على أن مكملا
ت الفيتامينات تحسن الأداء إلا عند استخدامها لتصحيح نقص غذائى.
يمكن أن تكون الجرعات الكبيرة من الفيتامينات القابلة للذوبان فى الدهون ضا
رة بشكل خاص لأنها الأكثر احتمالًا للتراكم فى الجسم إلى مستويات سامة.

الفيتامينات

الفيتامينات هى مغذيات عضوية تُستمد من الطعام، يحتاجها الجسم
بكميات صغيرة فقط لكنها ضرورية للتمثيل الغذائى. لا تُستخدم كم
صدر للطاقة أو كمكونات هيكلية للخلايا، بل لتسهيل أو تسريع العمليا
ت الأيضية. العديد منها يعمل كمساعدات إنزيمية أو إنزيمات مساعد
ة)انظر القسم 2.4f(. تم تسمية الفيتامينات فى الأصل بأحرف حسب
ترتيب اكتشافها، لكنها تحمل أيضًا أسماء كيميائية وصفية مثل حم
ض الأسكوربيك)فيتامين C(والريبوفلافين)فيتامين B2(.
يجب أن تأتى معظم الفيتامينات من النظام الغذائى)الجدول 26.3(،
لكن الجسم يصنع بعضها من سوابق تُسمى *الفيتامينات السابقة* —
النياسين من الحمض الأمينى التربتوفان؛ فيتامين D من الكوليسترو
ل؛ وفيتامين A من الكاروتين، الموجود بكثرة فى الجزر والقرع والخضر
وات والفواكه الصفراء الأخرى. فيتامين K، وحمض البانتوثينيك، وال
بيوتين، وحمض الفوليك تُنتجها بكتيريا الأمعاء الغليظة. فى الواقع،
تحتوى الفضلات على كمية من البيوتين أكثر مما تحتويه الأطعمة.
تصنف الفيتامينات إلى فيتامينات قابلة للذوبان فى الماء أو فى الدهون.
الفيتامينات القابلة للذوبان فى الماء تُمتص مع الماء من الأمعاء الدق
يقة، وتذوب بحرية فى سوائل الجسم، وتُطرح بسرعة عن طريق الكلى.
لا يمكن تخزينها فى الجسم ولذلك نادرًا ما تتراكم إلى مستويات زائدة
. الفيتامينات القابلة للذوبان فى الماء هى حمض الأسكوربيك وفيتام
ينات B. يعزز حمض الأسكوربيك تخليق الهيموغلوبين، وتكوين الكولا
جين، وبنية الأنسجة الضامة السليمة؛ كما أنه مضاد للأكسدة يلتقط ا
لجذور الحرة وربما يقلل من خطر الإصابة بالسرطان. تعمل فيتامينات
B كإنزيمات مساعدة أو أجزاء من جزيئات الإنزيم المساعد؛
تساعد الإنزيمات بنقل الإلكترونات من تفاعل أيضى إلى آخر، مما يجع
ل من الممكن

الجدول 26.3	متطلبات الفيتامين وبعض المصادر الغذائية		
بعض المصادر الغذائية*	الإناث (المدخول الغذائى الموصى به/المدخول الكافى)	الذكور	الفيتامين
الفيتامينات القابلة للذوبان فى الماء			
الفواكه الحمضية، الفراولة، الطماطم، الخضروات الورقية، الكرنب، القرنبيط، البروكلى، كرنب بروكسل	75 ملغ	90 ملغ	حمض الأسكوربيك)فيتامين C(
يُصنع بسهولة من التريبتوفان، الموجود فى أى نظام غذائى يحتوى على بروتين كافٍ؛ اللحوم الحمراء، الكبد، الأعضاء الأخرى، الدواجن، الأسماك، المشمش، البقوليات، الحبوب الكاملة، الفطر	14 ملغ	16 ملغ	النياسين)حمض النيكوتينيك، B3(
منتشر على نطاق واسع، ونقصه نادر؛ اللحوم الحمراء، الكبد، الأعضاء الأخرى، البيض، الخضروات الخضراء والصفراء، البقوليات، الحبوب الكاملة، الفطر، الخميرة	5 ملغ	5 ملغ	حمض البانتوثينيك (B5)
منتشرة على نطاق واسع، ونقصها نادر؛ جميع أنواع اللحوم، الحليب، البيض، الخضروات الورقية، الحبوب الكاملة، المشمش، البقوليات، الفطر، الخميرة	1.1 ملغ	1.3 ملغ	ريبوفلافين)B2(
اللحم الأحمر، السمك، الكبد، الأعضاء الأخرى، الخضروات الورقية، المشمش، البقوليات، الحبوب الكاملة، البذور	1.3 ملغ	1.3 ملغ	بيريدوكسين)فيتامين ب6(
اللحم الأحمر، الكبد، الأعضاء الأخرى، البيض، الخضروات الورقية، الهليون، البقوليات، الحبوب الكاملة، البذور، الخميرة	1.1 ملغ	1.2 ملغ	ثيامين)فيتامين ب1(
البيض، الكبد، الخضروات الورقية، الفواكه الحمضية، البقوليات، الحبوب الكاملة، البذور	400 ميكروغرام	400 ميكروغرام	حمض الفوليك)فولات، فيتامين ب9(
اللحم الأحمر، الكبد، الأعضاء الأخرى، البيض، الجبن، الملفوف، القرنبيط، الموز، البقوليات، المكسرات	30 ميكروغرام	30 ميكروغرام	البيوتين)B7(
اللحم الأحمر، الكبد، الأعضاء الأخرى، المحار، البيض، الحليب؛ غير موجود فى النباتات الغذائية	2.4 ميكروغرام	2.4 ميكروغرام	كوبالامين)B12(
الفيتامينات القابلة للذوبان فى الدهون			
زيوت السمك، الخضروات الورقية، البذور، جنين القمح، الزيوت النباتية، المارجرين، المكسرات	15 ملغ	15 ملغ	α-توكوفيرول)E(
زيوت السمك، البيض، الجبن، الحليب، الخضروات الورقية، الخضروات والفواكه الخضراء والصفراء الأخرى، المارجرين	700 ميكروغرام	900 ميكروغرام	ريتينول)أ(
الكبد، الخضروات الورقية، الملفوف، القرنبيط؛ يتم توفير معظم الاحتياج بواسطة بكتيريا الأمعاء	90 ميكروغرام	120 ميكروغرام	فيلوكينون)ك(
الأسماك، زيوت الأسماك، الحليب المدعم؛ يتكون بتعرض الجلد لأشعة الشمس	٥ ميكروغرام	٥ ميكروغرام	كالسيترول)د(

*انظر الحاشية فى الجدول 26.2.

يمكن التحكم بها، ويتم نقل أكبر قدر ممكن منها إلى
ATP، والباقي يُطلق على شكل حرارة.
هناك ثلاثة مسارات رئيسية لتحلل الجلوكوز:

1. التحلل السكرى،[4] الذى يقسم جزىء الجلوكوز إلى جزيئين من ا لبيروفات؛
2. التخمر اللاهوائى، الذى يقلل البيروفات إلى لاكتات دون استخدام الأكسجين؛ و
3. التنفس الهوائى، الذى يتطلب الأكسجين ويؤكسد البيروفات إلى ثانى أكسيد الكربون والماء.

قد تجد من المفيد مراجعة الشكل 2.31 للحصول على نظرة عامة وا سعة لهذه العمليات وعلاقتها بإنتاج ATP. الأشكال الأربعة التالية تفح ص هذه العمليات بمزيد من التفصيل.
الإنزيمات المساعدة)الكوإنزيمات(مهمة للغاية لهذه التفاعلات. تقوم الإنزيمات بإزالة الإلكترونات)كذرات هيدروجين(من المركبات ا لوسيطة فى هذه المسارات، لكنها لا ترتبط بها. بدلاً من ذلك، تنقل ذر ات الهيدروجين إلى الإنزيمات المساعدة، وتقوم الإنزيمات المساعدة بالتبرع بها إلى مركبات أخرى لاحقًا فى أحد مسارات التفاعل. وبالتالى ، لا يمكن لإنزيمات تحلل الجلوكوز أن تعمل بدون الإنزيمات المساعد ة الخاصة بها.
الإنزيمان المساعدان ذوا الأهمية الخاصة لتحلل الجلوكوز هما N AD^+)نيكوتيناميد أدينين دينوكليوتيد(و FAD)فلافين أديني ن دينوكليوتيد(. كلاهما مشتق من فيتامينات ب—NAD^+ من النيا سين وFAD من الريبوفلافين. تُزال ذرات الهيدروجين من الوسائط الأ يضية على شكل أزواج—أى بروتونان وإلكترونان)$2H^+$ و $2e^-$(فى ك ل مرة—وتُنقل إلى الإنزيم المساعد. هذا ينتج إنزيمًا مساعدًا مختزلًا ذ و محتوى طاقة حرة أعلى مما كان عليه قبل التفاعل. وبالتالى تصبح ا لإنزيمات المساعدة حاملات مؤقتة للطاقة المستخرجة من نواتج أي ض الجلوكوز. التفاعلات لذلك هى



$$FAD + 2\,H \longrightarrow FADH_2$$

و



$$NAD^+ + 2\,H \longrightarrow NADH + H^+.$$

يرتبط FAD ببروتونين وإلكترونين ليصبح $FADH_2$.
أما NAD^+، فيرتبط بالإلكترونين ولكن ببروتون واحد فقط ليصبح NA DH. يبقى البروتون الآخر أيون هيدروجين حر)H^+(أو H_3O^+ عند اتحاده مع الماء، لكنه يُمثّل فى هذا الفصل كـ H^+(.

26.2ب التحلل السكرى)Glycolysis(

عند دخول الجلوكوز إلى الخلية، يبدأ سلسلة من التحولات تسمى التحلل السكرى. الخطوات المرقمة فى الشكل 26.5 تتوافق مع التفسيرات المرقمة فى النص التالى.

(1) الفسفرة. يقوم الإنزيم *هيكسوكيناز* بنقل مجموعة فوسفات غ ير عضوية)Pi(من ATP إلى الجلوكوز، منتجًا جلوكوز 6-فوسفا ت)G6P(. لهذا تأثيران:

•يحافظ على تركيز الجلوكوز داخل الخلية منخفضًا، مما يحا فظ على تدرج تركيز يُفضل استمرار انتشار المزيد من الجلو كوز إلى داخل الخلية.

---

[4] *جليكو* = سكر؛ *تحلل* = انقسام

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

1. اذكر هرمونين ينظمان الجوع والشبع على المدى القصير. كيف يخ تلف اللبتين عنهما فى تأثيراته؟
2. اشرح العبارة التالية: السليلوز هو جزء مهم من النظام الغذائى الص حى ولكنه ليس مغذياً.
3. ما هى فئة المغذيات التى توفر معظم السعرات الحرارية فى النظام ا لغذائى؟ وما هى فئة المغذيات التى توفر أكبر مخزون للطاقة الم خزنة فى الجسم؟
4. قارن بين وظائف البروتينات الدهنية ذات الكثافة المنخفضة جداً)VLDLs(، والبروتينات الدهنية منخ فضة الكثافة)LDLs(، والبروتينات الدهنية عالية الكثافة)HDLs(. اشرح كيف يرتبط هذا بحقيقة أن ارتفاع مستوى HDL فى الدم مرغوب فيه، بينما ارتفاع مستوى VLDL–LDL غير مرغوب فيه.
5. لماذا تمتلك بعض البروتينات قيمة غذائية أعلى من غيرها؟

26.2 تمثيل الكربوهيدرات

النتائج التعليمية المتوقعة

عندما تكمل هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف التفاعلات الرئيسية والنواتج لكل خطوة رئيسية فى أ كسدة الجلوكوز؛
ب. مقارنة وظائف ونواتج التخمير اللاهوائى والتنفس الهوا ئى؛
ج. شرح مكان وكيفية إنتاج الخلايا لـ ATP؛ و
د. وصف إنتاج الجليكوجين ووظيفته واستخدامه.

يتم حرق معظم الكربوهيدرات الغذائية كوقود خلال ساعات قليلة من الامتصاص. على الرغم من امتصاص ثلاثة سكريات أحادية من الطعام المهضوم — الجلوكوز، الجالاكتوز، والفركتوز — يتم تحويل الأخيرين بسرعة إلى الجلوكوز، وجميع عمليات الأيض التأكسدى للكربوهيدرات هى فى الأساس تحلل الجلوكوز. التفاعل العام لذلك هو

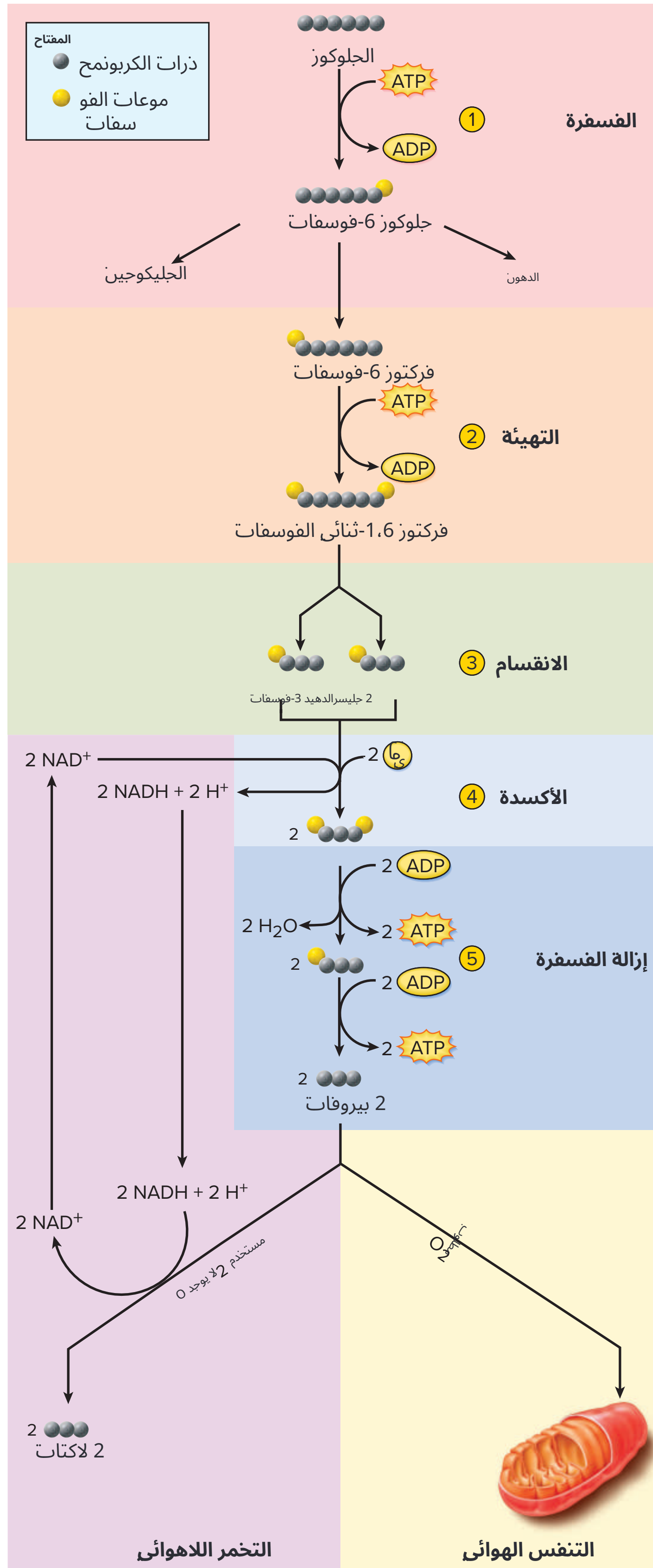


$$C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 \longrightarrow 6\,CO_2 + 6\,H_2O.$$

وظيفة هذا التفاعل ليست إنتاج ثانى أكسيد الكربون والماء بل نقل الطاقة من الجلوكوز إلى ATP.
على طول مسار أكسدة الجلوكوز توجد عدة روابط يمكن من خلاله ا أيضًا أكسدة مغذيات أخرى—خاصة الدهون والأحماض الأمينية—كم صدر للطاقة. لذلك يوفر تحلل الكربوهيدرات نقطة مركزية يمكننا من خلالها رؤية تحلل جميع المصادر الوقودية وتوليد ATP.

26.2أ تحلل الجلوكوز

إذا تم تنفيذ التفاعل السابق فى خطوة واحدة، فسيولد دفقة قصيرة و شديدة من الحرارة—مثل احتراق الورق، الذى له نفس المعادلة الكيم يائية. لن يكون هذا مفيدًا لعملية الأيض فى الجسم فحسب، بل سيق تل الخلايا أيضًا. ومع ذلك، فى الجسم، يتم تنفيذ العملية على سلسلة من الخطوات الصغيرة، كل منها يتحكم فيه إنزيم منفصل. يتم إطلاق الطاقة بكميات صغيرة



الشكل 26.5 التحلل السكرى والتخمير اللاهوائى.
خطوات التفاعل المرقمة موضحة فى النص.

المركبات الفسفورية لا يمكنها المرور عبر غشاء البلازما
، لذا يمنع هذا السكر من مغادرة الخلية.
فى معظم الخلايا، الخطوة 1 غير قابلة للعكس لأن الخلايا تف
تقر إلىالإنزيم الذى يحول G6P مرة أخرى إلى الجلوكوز. الاستثناءا
ت القليلة هى الخلايا التى يجب أن تكون قادرة على إطلاق الج
لوكوز الحر إلىالدم: خلايا الامتصاص فى الأمعاء الدقيقة، خلايا ا
لأنابيب الملتوية القريبة فى الكلية، وخلايا الكبد.

G6P هو جزىء متعدد الاستخدامات يمكن تحويله إلى دهون أو
أحماض أمينية، أو تكريره لتكوين الجليكوجين للتخزين،
أو أكسدته أكثر لاستخراج طاقته. فى الوقت الحالى، نحن
مهتمون بشكل رئيسى بأكسدته الإضافية (التحلل السكرى)،
والتأثير العام لذلك هو تقسيم G6P (سكر سداسى الكربون،
$_6$C) إلى جزيئين ثلاثى الكربون ($_3$C) من البيروفات. تابع
تتبع هذه الخطوات فى الشكل 26.5 أثناء القراءة.

2 التهيئة. يتم إعادة ترتيب G6P (تحويله إلى نظير) لتكوين فرك
توز6-فوسفات، الذى يُفسفر مرة أخرى لتكوين فركتوز1،6-ثنائى ا
لفوسفات. هذه "التهيئة" للعملية من خلال توفيرطاقة الت
شيط، مثل حرارة عود الثقاب المستخدمةلإشعال المدفأة. تم ا
ستهلاك جزيئين من ATP بالفعل، ولكن كما تعطى النار حرارة أ
كثر مما تحتاج لبدئها، فإن التنفس الهوائى فى النهاية يعطى
ATP أكثر بكثير مما يحتاجه لتهيئة التحلل ال
سكرى.

3 الانقسام. يحدث جزء "التحلل" من التحلل السكرى عند
ماينقسم فركتوز 1،6-ثنائى الفوسفات إلى جزيئين ثلاثى
الكربون ($_3$C). من خلال إعادة ترتيب بسيطة لأحدهما (
غير موضحة فى الشكل)، يتم توليد جزيئين من PGAL
(فوسفوغليسيرالدهيد، المعروف أيضًا باسمجلسيرالدهيد 3-
فوسفات).

4 الأكسدة. يتم بعد ذلك أكسدة كل جزىء PGAL عن طريق إزالة
زوج من ذرات الهيدروجين. يتم التقاط الإلكترونات وبروتون واحد
بواسطة NAD^+ ويتم إطلاق البروتون الآخر فى السيتوسول، مما ين
تج $NADH + H^+$. فى هذه الخطوة، يتم أيضًا إضافة مجموعة فوسفا
ت (Pi) إلى كل من شطايا 3C على عكس الخطوات السابقة، لا يتم
توفير هذا الفوسفات بواسطة ATP بل يأتي من مخزون الخلية م
ن أيونات الفوسفات الحرة.

5 إزالة الفوسفات. فى الخطوتين التاليتين، تُؤخذ مجموعات الفو
سفات من وسائط التحلل السكرى وتُنقل إلى ADP، محولة إيا
ه إلى ATP. يتحول المركب 3C إلى البيروفات.

المنتجات النهائية الصافية لعملية التحلل السكرى هى بالتالى


$$2\ \text{pyruvate} + 2\ \text{NADH} + 2\ H^+ + 2\ \text{ATP}.$$

لاحظ أنه يتم إنتاج 4 جزيئات ATP فعليًا (الخطوة 5)، لكن تم
استهلاك 2 ATP لبدء التحلل السكرى (الخطوتان 1 و 2)، لذا فإن الربح الصافى هو
2 ATP لكل جلوكوز. بعض الطاقة الأصلية فى الجلوكوز
موجودة فى هذا ATP، وبعضها فى NADH، وبعضها يُفقد على شكل
حرارة. ومع ذلك، تبقى معظم الطاقة فى البيروفات.

26.2ح التخمر اللاهوائى

مصير البيروفات يعتمد على توفر الأكسجين من عدمه. فى العضلة أ
ثناء التمرين، قد يتجاوز الطلب على ATP إمداد الأكسجين. الوح
يد الذى يمكن للخلايا إنتاجه فى هذه الظروف هو 2 ATP الناتج عن ال
تحلل السكرى. الخلايا التى لا تحتوى على

تفاعلات سنسميها تفاعلات الغشاء، لأن الإنزيمات المسيطرة عليها مرتبطة بأغشية طيات الميتوكوندريا.

تفاعلات المصفوفة

تُعرض تفاعلات المصفوفة في الشكل ٦.٦٢، حيث يتم ترقيم خطوات التفاعل لاستئناف المكان الذي انتهى عنده الشكل السابق. معظم تفاعلات المصفوفة تشكل سلسلة تسمى دورة حمض الستريك (كريبس°). قبل ذلك، هناك ثلاث خطوات تُعد البيروفات لدخول الدورة وبالتالي ربط التحلل السكري بها.

6 يتم *إزالة الكربوكسيل من البيروفات؛* أي يتم إزالة CO_2 و يصبح البيروفات، وهو مركب 3C مركب 2C

7 يقوم NAD^+ بإزالة ذرات الهيدروجين من المركب 2C (وهي تفاعل أكسدة) ويحوّله إلى مجموعة أسيتيل (الشكل المؤين ل حمض الخليك.)

8 يرتبط مجموعة الأسيتيل مع الإنزيم المساعد A، وهو مشتق من حمض البانتوثينيك (فيتامين ب.)

ينتج عن ذلك أسيتيل-إنزيم مساعد A (أسيتيل-CoA). في هذه المرحلة، يكون بقايا 2C من جزيء الجلوكوز الأصلي جاهزًا للدخول في دورة حمض الستريك.

9 في بداية دورة حمض الستريك، يقوم الإنزيم المساعد A بتسليم مجموعة الأسيتيل (2C) إلى مركب 4C، وهو حمض الأكسالوأسيتيك. ينتج عن ذلك المركب 6C وهو حمض الستريك، الذي سُميت الدورة باسمه.

10 يتم إزالة الماء ويعاد تنظيم جزيء حمض الستريك، لكنه لا يزال يحتفظ بذرات الكربون الستة.

11 تُزال ذرات الهيدروجين وتُقبل بواسطة +NAD.

12 يتم إزالة ثاني أكسيد الكربون CO_2 آخر ويصبح الركيزة سلسلة مكونة من خمسة ذرات كربون.

13 14 الخطوتان 11 و12 تتكرران أساسًا، مما يؤدي إلى توليد

جزيء ثاني أكسيد الكربون حر آخر CO_2 ويترك سلسلة مكونة من أربعة ذرات كربون.

لا يتم إزالة المزيد من ذرات الكربون بعد هذه النقطة؛ يبقى الركيزة سلسلة من مركبات C_4 من هنا وحتى بداية الدورة. تمت إزالة ذرات الكربون الثلاث في البيروفات كـ CO_2 في الخطوات 6 و12 و14. هذه

تفاعلات إزالة الكربوكسيل هي مصدر معظم ثاني أكسيد الكربون في زفيرك.

15 يذهب بعض الطاقة في الركيزة C_4 إلى فسفرة ثنائي فوسفات الجوانوزين (GDP) وتحويله إلى ثلاثي فوسفات الجوانوزين (GTP)، وهو جزيء مشابه لـ ATP.

ينقل GTP بسرعة مجموعة الفسفور iP إلى ADP لتكوين ATP. يشارك الإنزيم المساعد A مرة أخرى في هذه الخطوة لكنه غير موضح في الشكل.

°السير هانز كريبس (١٩٠٠–١٨٩١)، الكيميائي الحيوي الألماني

الميتوكوندريا، مثل كريات الدم الحمراء، تقتصر على إنتاج ATP بهذه الطريقة.

لكن التحلل السكري سيتوقف بسرعة إذا توقفت التفاعلات عند البيروفات. لماذا؟ لأنه سيستهلك مخزون NAD^+، الذي يحتاجه لقبول الإلكترونات في الخطوة 4 والحفاظ على استمرار التحلل السكري. يحب تجديد NAD^+. لتحقيق ذلك في غياب الأكسجين، تلجأ الخلية إلى تفاعل من خطوة واحدة يسمى التخمر اللاهوائي. (غالبًا ما يُطلق عليه بشكل غير دقيق التنفس اللاهوائي، لكن من الناحية الدقيقة، لا تقوم الخلايا البشرية بالتنفس اللاهوائي؛ هذه العملية توجد فقط في بعض البكتيريا.) في هذا المسار، يتبرع NADH بزوج من الإلكترونات إلى البيروفات، مما يقلله (لا يؤكسده) إلى اللاكتات ويجدد NAD^+.

طبق ما تعرفه ◀◀◀

هل يحتوي اللاكتات على طاقة حرة أكثر من البيروفات أم أقل؟ اشرح.

يترك اللاكتات الخلايا التي تنتجه ويسافر عبر مجرى الدم إلى الكبد. عندما يتوفر الأكسجين مرة أخرى، يقوم الكبد بأكسدة اللاكتات مرة أخرى إلى البيروفات، والتي يمكنها بعد ذلك دخول المسار الهوائي الموصوف لاحقًا. الأكسجين المطلوب لذلك هو جزء من استهلاك الأكسجين الزائد بعد التمرين (EPOC) الناتج عن عضلات الهيكل العظمي أثناء التمرين (انظر القسم 11.6c). يمكن للكبد أيضًا تحويل اللاكتات مرة أخرى إلى G6P ويمكنه القيام بأحد أمرين: (1) بلمرتها لتكوين الجليكوجين للتخزين، أو (2) إزالة مجموعة الفوسفات وإطلاق الجلوكوز الحر في الدم.

على الرغم من أن التخمر اللاهوائي يحافظ على استمرار التحلل السكري لفترة أطول قليلاً، إلا أن له بعض العيوب. أحدها أنه مضيّع للطاقة، لأن معظم طاقة الجلوكوز لا تزال في اللاكتات ولم تُستخدم في عمل مفيد. والآخر هو أن فائض اللاكتات سام.

عضلات الهيكل العظمي تتحمل التخمر اللاهوائي نسبيًا، وعضلة القلب أقل تحملاً لذلك. يستخدم الدماغ التخمر اللاهوائي بشكل ضئيل جدًا. أثناء الولادة، عندما ينقطع إمداد الدم للرضيع، تتحول معظم أعضائه إلى التخمر اللاهوائي حتى لا تتنافس مع الدماغ على الإمداد المحدود من الأكسجين.

طبق ما تعرفه ◀◀◀

في أي نقطة في الشكل 26.5 سيتوقف التفاعل، وأي وسيط تفاعلي سيتراكم، إذا لم يكن +NAD متاحًا للخلية؟ ما العملية التي تجدد مخزون NAD^+؟

26.2د التنفس الهوائي

يتم توليد معظم ATP في الميتوكوندريا، التي تحتاج إلى الأكسجين كمستقبل نهائي للإلكترونات. في وجود الأكسجين، يدخل البيروفات الميتوكوندريا ويُؤكسد بواسطة التنفس الهوائي.

يحدث هذا في خطوتين رئيسيتين:

- مجموعة من التفاعلات التي سنسميها تفاعلات المصفوفة، لأن الإنزيمات المسيطرة عليها توجد في سائل مصفوفة الميتوكوندريا؛ و

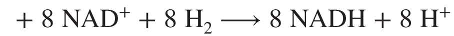
16 يتم إزالة ذرتى هيدروجين وقبولهما بواسطة الإنزيم المساعد FAD.

17 يتم إضافة الماء.

18 يتم إزالة ذرتى هيدروجين نهائيتين ونقلهما إلى NAD^+. تولد هذه التفاعل حمض الأكسالوأسيتك، الذى يتوفر لبدء الدورة من جديد.

من المهم أن نتذكر أنه مقابل كل جزىء جلوكوز يدخل فى التحلل السكرى، تحدث كل هذه التفاعلات فى المصفوفة مرتين (مرة لكل بير وفات). يمكن تلخيص تفاعلات المصفوفة فى أربع معادلات.


$$2\ \text{pyruvate} + 6\ H_2O \longrightarrow 6\ CO_2$$

$$+\ 2\ ADP + 2\ P_i \longrightarrow 2\ ATP$$

$$+\ 8\ NAD^+ + 8\ H_2 \longrightarrow 8\ NADH + 8\ H^+$$

$$+\ 2\ FAD + 2\ H_2 \longrightarrow 2\ FADH_2$$

لا يتبقى شىء من المادة العضوية للجلوكوز؛ فقد تم حمل جميع ذرات الكربون على شكل $2CO$ وعلى الرغم من فقدان المزيد من طاقته على شكل حرارة على طول الطريق، إلا أن بعضًا منها يُخزن فى 2 ATP إضافيين، ومعظمها، وبفارق كبير، يكون فى الإنزيمات المساعدة المختزلة: 8 جزيئات NADH و2 جزيئات $2FADH$ التى تولدت بواسطة تفاعلات المصفوفة و2 جزيئات NADH التى تولدت بواسطة التحلل السكرى. يجب أكسدة هذه الجزيئات لاستخلاص الطاقة منها.

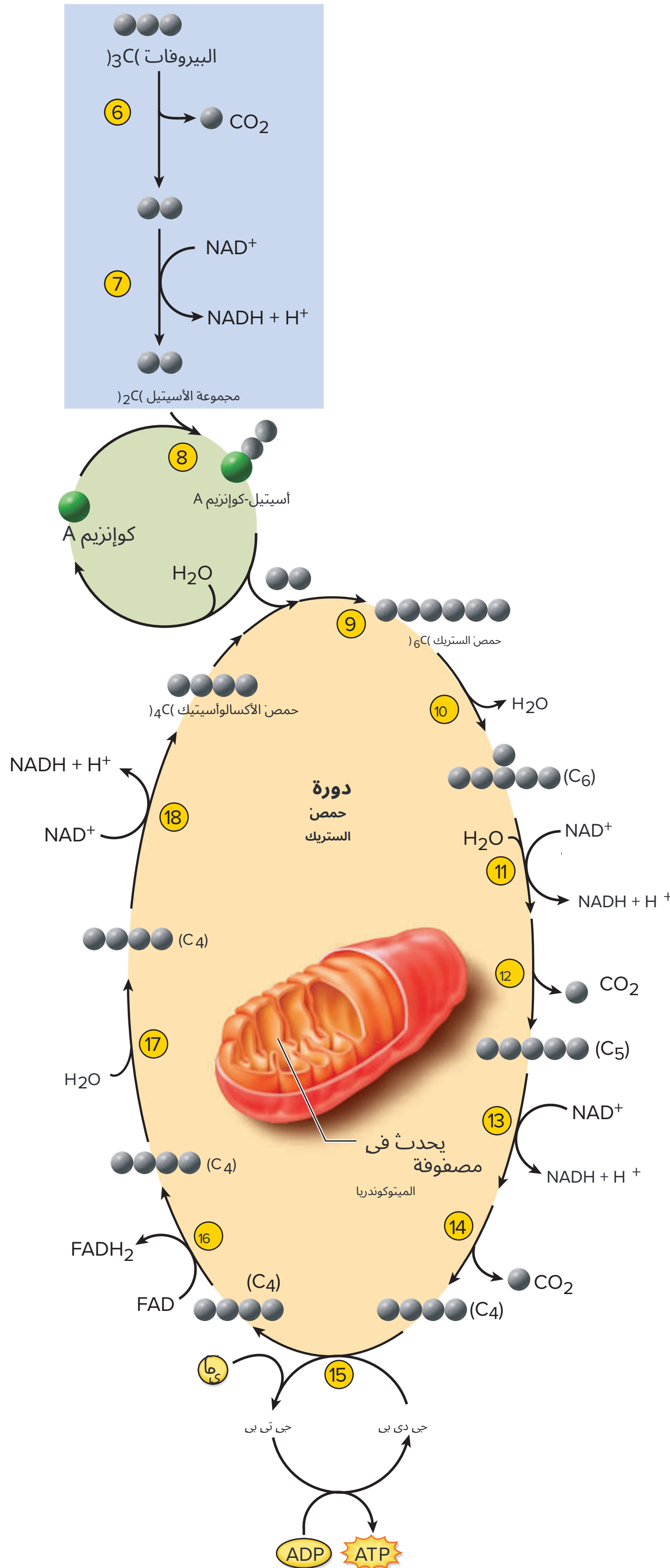
دورة حمض الستريك لا تقوم فقط بأكسدة نواتج استقلاب الجلوكوز، بل هى أيضًا مسار ومصدر للوسائط الوسيطة لتخليق الدهون والأحماض الأمينية غير الأساسية. سيتم مناقشة الروابط بين دورة حمض الستريك واستقلاب المغذيات الأخرى لاحقًا.

تفاعلات الغشاء

لردود الفعل الغشائية غرضان: (1) أكسدة NADH و$2FADH$ بشكل إضافى ونقل طاقتهما إلى ATP و(2) تجديد NAD^+ وFAD وجعلهما متاحين مرة أخرى لخطوات التفاعل السابقة. تُجرى ردود الفعل الغشائية عن طريق سلسلة من المركبات تُسمى سلسلة نقل الإلكترون الميتوكوندرية (الشكل 26.7). معظم أعضاء السلسلة مرتبطون بالغشاء الداخلى للميتوكندريا. يتم ترتيبهم بترتيب دقيق يمكّن كل واحد منهم من استقبال زوج من الإلكترونات من العضو الموجود على أحد جانبيه (أو، فى حالتين، من NADH و$2FADH$) وتمرير هذه الإلكترونات إلى العضو الموجود على الجانب الآخر—مثل صف من الأشخاص يمررون "البطاطا الساخنة". بحلول الوقت الذى تصل فيه "البطاطا" إلى العضو الأخير فى السلسلة، تكون "باردة" نسبيًا—لقد استُخدمت طاقتها لصنع ATP.

أعضاء هذه السلسلة الناقلة هى كما يلى:

- فلافين مونونوكليوتيد (FMN)، وهو مشتق من الريبوفلافين يشبه FAD، مرتبط ببروتين غشائى. يستقبل FMN الإلكترونات من NADH.
- مراكز الحديد-الكبريت (Fe–S)، مركبات من ذرات الحديد والكبريت مرتبطة ببروتينات الغشاء.

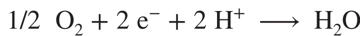


الشكل 26.6 تفاعلات مصفوفة الميتوكوندريا. تبدأ خطوات التفاعل المرقمة حيث انتهى الشكل 26.5 على اليسار ويتم شرحها فى النص.

- إنزيم مساعد Q (CoQ)، الذى يقبل الإ لكترونات من FADH 2 على عكس الأعضاء الأخرى، هذه جزيء صغير نسبيًا، م تحرك يتحرك داخل الغشاء.
- أيونات النحاس)Cu(مرتبطة ببروتينين غ شائيين.
- السيتوكرومات،[6] خمسة إنزيمات تحتوى على عوامل مساعدة من الحديد، وسميت بذلك لأنها ملونة بشكل زاهى فى شكلها النقى. بالترتيب حسب المشاركة فى السلسلة، هى السيتوكرومات ب ، ح$_1$، ح ، أ ، و أ$_3$.

نقل الإلكترونات الشكل 26.7 يوضح ترتيب انتقال الإلكترونات على طول السلسلة. يتم فصل ذرات الهيدروجين أثناء انتقالها من الإنزيمات المساعدة إلى السلسلة. يتم ضخ البروتونات إلى الفضاء بين الغشائين)الشكل 26.8(، وتسافر الإلكترونات فى أزواج)2 e^-(على طول سلسلة النقل. كل ناقل إلكترونات فى السلسلة يصبح مختزلاً عند استقباله زوج إلكترونات ويُؤكسد مرة أخرى عند تمرير الإلكترونات إلى الناقل التالى. يتم تحرير الطاقة فى كل انتقال.

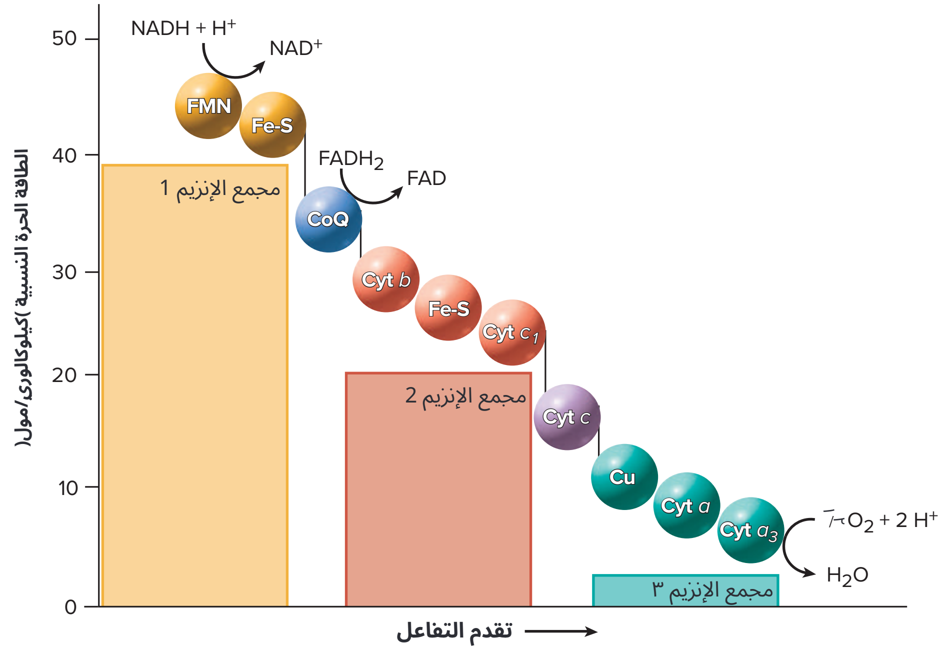
المستقبل النهائى للإلكترونات فى السلسلة هو الأكسجين. كل ذرة أكسجين)نصف جزىء O_2(تستقبل إلكترونين)2 e^-(من السيتوكروم أ$_3$ وبروتونين)2 H^+(من مصفوفة الميتوكوندريا. النتيجة هى جزىء ماء:



$$1/2\ O_2 + 2\ e^- + 2\ H^+ \longrightarrow H_2O$$

هذا هو المصدر الأساسى للماء *الأيضى* المذكور فى الفصل 24—الماء الذى يُصنع داخل الجسم بدلاً من تناوله مع الطعام والشراب. تشرح هذه التفاعل أيضًا سبب احتياج الجسم للأكسجين. بدونه، يتوقف هذا التفاعل، وكأنه اختناق مرورى، ويتوقف كل العمليات الأخرى التى تؤدى إليه. ونتيجة لذلك، ينتج الخلية كمية قليلة جدًا من ATP للحفاظ على الحياة، ويحدث الموت خلال دقائق قليلة.

الآلية الكيميائية الأسموزية الأهم هو ما يحدث للطاقة التى تتحرر من الإلكترونات أثناء مرورها على السلسلة. بعض هذه الطاقة يُفقد حتمًا على شكل حرارة، لكن جزءًا منها يدفع مجمعات الإنزيمات التنفسية. المجمع الأول يشمل FMN وخمسة أو أكثر من مراكز Fe–S؛ المجمع الثانى يشمل السيتوكرومات ب و ح$_1$ ومركز Fe–S؛ والمجمع الثالث يشمل مركزين نحاسيين والسيتوكرومات أ و أ$_3$. كل مجمع يعمل بشكل جماعى كمضخة بروتونات تزيل H^+ من مصفوفة الميتوكوندريا وتضخها إلى الفضاء بين الغشاء الداخلى والخارجى للميتوكوندريا. الإنزيم المساعد Q هو ناقل ينقل الإلكترونات من المضخة الأولى إلى الثانية، والسيتوكروم ح ينقل الإلكترونات من المضخة الثانية إلى الثالثة.



الشكل 26.7 سلسلة نقل الإلكترونات فى الميتوكوندريا. جزيئات النقل مجمعة فى ثلاثة مجمعات إنزيمية، كل منها يعمل كمضخة بروتونات. الجزيئات فى أعلى يسار الشكل تحتوى على طاقة حرة نسبية عالية، والجزيئات فى أسفل يمين الشكل تحتوى على طاقة منخفضة نسبيًا.

ما هما الجزيئتان اللتان تستوردان الطاقة إلى سلسلة التفاعلات هذه، مما يزود الطاقة التى تُخزن فى ATP؟

تُنشئ هذه المضخات تركيزًا عاليًا جدًا من H^+)درجة حموضة منخفضة(وشحنة موجبة بين الأغشية مقارنةً بتركيز منخفض من H^+ وشحنة سالبة فى مصفوفة الميتوكوندريا. أى أنها تخلق تدرجًا كيميائيًا كهربائيًا حادًا عبر الغشاء الداخلى للميتوكوندريا. إذا كان الغشاء الداخلى يسمح بحرية لـ H^+ بالمرور، فإن هذه الأيونات سيكون لديها ميل قوى للانتشار باتجاه هذا التدرج والعودة إلى المصفوفة.

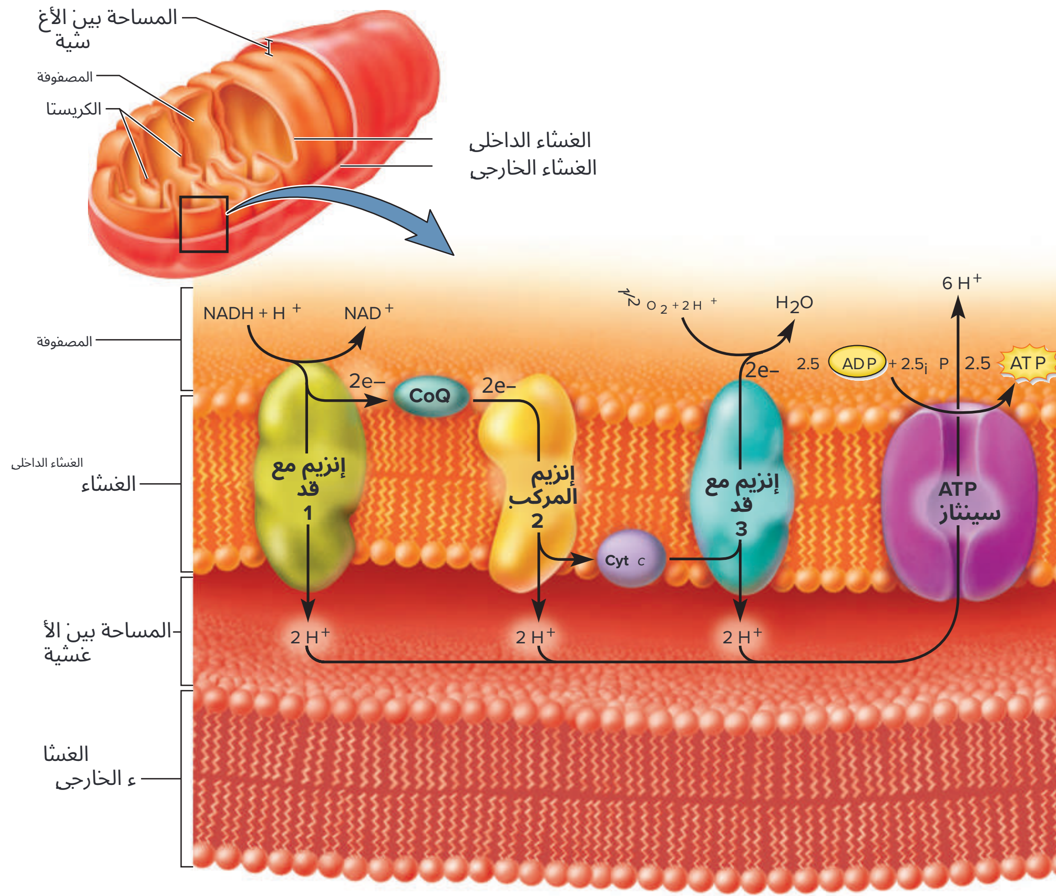
الغشاء الداخلى، مع ذلك، نفاذه يقتصر على H^+ فقط من خلال بروتينات قناة محددة تُسمى **ATP synthase**(مستقلة عن نظام نقل الإلكترون(. عندما يتدفق H^+ عبر هذه القنوات، فإنه يخلق تيارًا كهربائيًا)والذى، كما قد تتذكر، هو ببساطة حركة جسيمات مشحونة(. يستغل ATP synthase طاقة هذا التيار لدفع تخليق ATP. تُسمى هذه العملية الآلية الكيميائية الأسموزية[7])chemiosmotic(، والتى تشير إلى "الدفع" الناتج عن التدرج الكهروكيميائى لـ H^+.

26.2e نظرة عامة على إنتاج ATP

يُطلق NADH أزواج الإلكترونات الخاصة به)كذرات هيدروجين(إلى FMN فى أول مضخة بروتون فى نظام نقل الإلكترون. من هناك وحتى نهاية السلسلة، يولد هذا طاقة كافية لتخليق 2.5 جزىء ATP لكل زوج إلكترونات. يُطلق FADH$_2$ أزواج الإلكترونات الخاصة به إلى الإنزيم المساعد Q، الناقل بين المضخة الأولى والثانية للبروتونات. لذلك، يدخل السلسلة فى نقطة بعد المضخة الأولى ولا يساهم بالطاقة فى

[6]سايتو = خلية؛ كروم = لون

[7]كيمى = كيميائى؛ أسمو = دفع



الشكل 26.8 آلية الكيمياء الأسموزية لتخليق ATP. يقوم كل معقد إنزيمى بضخ أيونات الهيدروجين إلى الفراغ بين أغشية الميتوكوندريا. تنتشر هذه الأيونات مرة أخرى إلى المصفوفة عبر إنزيم ATP سينثاز، الذى يستغل طاقتها لتخليق ATP.

يجب اعتبار هذا كحد أقصى نظرى. هناك بعض عدم اليقين حول كمية H^+ التى يجب ضخها بين أغشية الميتوكوندريا لتوليد كل جزىء ATP، ويتم استهلاك جزء من الطاقة الناتجة عن تيار H^+ فى ضخ ATP من مصفوفة الميتوكوندريا إلى السيتوسول وتبادله مع المزيد من المواد الخام (ADP وPi) التى تُضخ من السيتوسول إلى الميتوكوندريا.

علاوة على ذلك، لا يمكن لـ NADH الناتج عن التحلل السكرى دخول الميتوكوندريا والتبرع بإلكتروناته مباشرة إلى سلسلة نقل الإلكترونات. فى خلايا الكبد والكلى والقلب، ينقل NADH إلكتروناته إلى *المالت*، وهو جزىء ناقل يقوم بتوصيل الإلكترونات إلى بداية سلسلة نقل الإلكترونات ويولد الحد الأقصى من ATP. أما فى خلايا العضلات الهيكلية والدماغ، فإن NADH الناتج عن التحلل السكرى ينقل إلكتروناته إلى *جليسرول فوسفات*، وهو ناقل مختلف يتبرع بالإلكترونات فى جزء أبعد من سلسلة نقل الإلكترونات ويولد كمية أقل من ATP. لذلك، تختلف كمية ATP المنتجة لكل NADH من نوع خلية إلى آخر ولا تزال غير معروفة لأنواع أخرى.

ولكن إذا افترضنا الحد الأقصى لعائد ATP، فإن كل مول (180 جرام) من الجلوكوز يطلق طاقة كافية لتخليق ما يصل إلى 32 مول من ATP. يحتوى الجلوكوز على محتوى طاقة يبلغ 686 كيلو كالورى/مول وATP يحتوى على 7.3 كيلو كالورى/مول (233.6 كيلو كالورى فى 32 مول). هذا يعنى

تساهم كل جزيئة $FADH_2$ بطاقة كافية لتخليق 1.5 جزىء ATP.

مع وضع ذلك فى الاعتبار، يمكننا إعداد ميزان طاقة لنرى مقدار ATP المنتج من الأكسدة الهوائية الكاملة لجلوكوز إلى CO_2 و H_2O ومن أين يأتى ATP؛ انظر أيضًا الشكل 26.9. تشير هذه الملحضة إلى خطوات التفاعل من 1 إلى 18 فى الأشكال 26.5 و 26.6. لكل جزىء جلوكوز، هناك

	10	NADH المنتج فى الخطوات 4، 7، 11، 13، و 18
	× 2.5	ATP لكل NADH ينتجه سلسلة نقل الإلكترون
	= 25	**ATP** الناتج عن NADH
بالإضافة إلى:	2	FADH2 المنتج فى الخطوة 16
	× 1.5	ATP لكل $FADH_2$ المنتج بواسطة سلسلة نقل الإلكترون
	= 3	**ATP** الناتج عن $FADH_2$
بالإضافة إلى:	2	صافى كمية ATP الناتجة عن تحلل الجلوكوز (الخطوة 5 معادلة للخطوة 2)
	2	**ATP** الناتج عن تفاعلات المصفوفة (الخطوة 15)
الإجمالى:	32	**ATP** لكل جلوكوز.

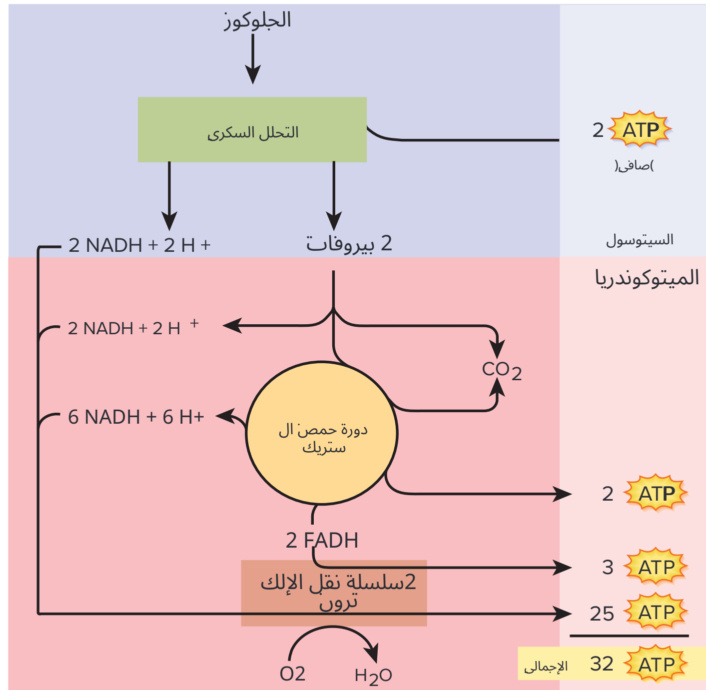
26.2f أيض الجليكوجين

يُستهلك ATP بسرعة بعد تصنيعه؛ فهو جزيء *نقل الطاقة* وليس جز ىء *تخزين الطاقة*. لذلك، إذا كان الجسم يحتوى على كمية كافية من ATP ولا يزال هناك المزيد من الجلوكوز فى الدم، فإنه لا ينتج ويخزن ATP زائدًا بل يحول الجلوكوز إلى مركبات أخرى أكثر ملاءم ة لتخزين الطاقة—وهى الجليكوجين والدهون. يُعتبر تخليق الدهون فى القسم 26.3. هنا ندرس تخليق واستخدام الجليكوجين)الشكل 2 6.10(، وكذلك توليد الجلوكوز من مصادر أخرى. يحتوى جسم البالغ ال متوسط على حوالى 400 إلى 450 جرامًا من الجليكوجين: حوالى ربعها فى الكبد، وثلاثة أرباعها فى العضلات الهيكلية، وكميات صغيرة فى ع ضلة القلب وأنسجة أخرى.

يُحفز الإنسولين تخليق الجليكوجين)Glycogenesis(. يُحول جلوكوز 6-فوسفات)G6P(إلى جلوكوز 1-فوسفات)G1P(. ثم يقوم الإنزيم *جليكوجين سينثاز* بقطع مجموعة الفوسفات وربط الجلو كوز بسلسلة متعددة السكريات المتنامية، وبذلك يُجمع الجليكوجين جلوكوزًا واحدًا فى كل مرة.
تحلل الجليكوجين)Glycogenolysis(، وهو تحلل الجليكوجين بالماء، يطلق الجلوكوز بين الوجبات عندما لا يتم تناول جلوكوز جديد. يُحفز هذا العملية الجلوكاجون والأدرينالين. يبدأ الإنزيم جليكوجين فو سفوريلاز بفوسفرة بقايا الجلوكوز ويفصلها عن جزىء الجليكوجين على شكل G1P. ثم يُحول هذا إلى G6P، الذى يمكنه بعد ذلك الدخول فى مسار تحلل الجلوكوز)glycolysis(.
عادةً لا يمكن لـ G6P مغادرة الخلايا التى تنتجه. ومع ذلك، تحتو ى خلايا الكبد على إنزيم يُسمى*جلوكوز 6-فوسفاتاز*، الذى يزيل مجموع ة الفوسفات وينتج جلوكوز حر. يمكن لهذا الجلوكوز أن ينتشر خارج الخ لية إلى الدم، حيث يكون متاحًا لأى خلايا فى الجسم. على الرغم من أ ن خلايا العضلات لا تستطيع إطلاق الجلوكوز مباشرةً إلى الدم، إلا أنها تساهم بشكل غير مباشر فى تركيز الجلوكوز فى الدم لأنها تطلق البيرو فات واللاكتات، اللذين يتحولان إلى جلوكوز بواسطة الكبد.

تكوين الجلوكوز[8] هو تخليق الجلوكوز من غير الكربوهيدرات مثل ا لجلسرين والأحماض الأمينية. يحدث بشكل رئيسى فى الكبد، ولكن بعد عدة أسابيع من الصيام، تبدأ الكلى أيضًا فى القيام بذلك

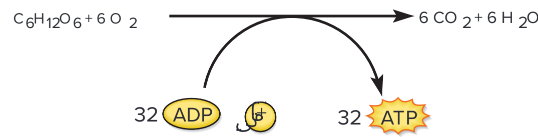
[8] *غلوكوز* = سكر، غلوكوز؛ *نيو* = جديد؛ جينيسيس = إنتاج



الشكل 26.9 ملخص مصادر ATP الناتجة عن الأكسدة الكاملة للجلوكوز.

أن التنفس الهوائى له كفاءة)نسبة الطاقة الناتجة إلى المدخلة(تصل إلى 233.6/686 كيلو كالورى = 34%. أما الـ 66% الأخرى فتفقد على شكل حرارة الجسم.

تم تلخيص مسارات تحلل الجلوكوز فى الجدول 26.4. يمكن تمثيل التنفس الهوائى للجلوكوز فى المعادلة الملخصة:



الجدول 26.4 مسارات تحلل الغلوكوز

المرحلة	المتفاعلات الرئيسية	المنتجات الرئيسية	الغرض
التحلل السكرى	الجلوكوز، 2 ADP، 2 P ي، 2 NAD^+	2 بيروفات، 2 ATP، 2 NADH، 2 H_2O	يعيد تنظيم الجلوكوز ويقسمه إلى جزأين استعدادًا لأكسدة إضافية بواسطة الميتوكوندريا؛ المصدر الوحيد لـ ATP فى الظروف اللاهوائية
التخمر اللاهوائى	2 بيروفات، 2 NADH	2 لاكتات، 2 NAD^+	يعيد توليد NAD^+ حتى تستمر عملية تحلل الجلوكوز فى العمل)وتوليد ATP(فى غياب الأكسجين
التنفس الهوائى			
تفاعلات المصفوفة	2 بيروفات، 8 NAD^+، 2 FAD، 2 ADP، 2 P_i، 8 H_2O	6 CO_2، 8 NADH، 2 $FADH_2$، 2 ATP، 2 H_2O	إزالة الإلكترونات من البيروفات ونقلها إلى الإنزيمات المساعدة NAD^+ وFADو؛ إنتاج بعض جزيئات ATP
تفاعلات الغشاء	10 NADH، 2 $FADH_2$، 6 O2	حتى 28 جزىء ATP، 12 H O_2	إنهاء الأكسدة وإنتاج معظم جزيئات ATP فى التنفس الخلوى

8. اشرح أصل كلمة التحلل السكرى ولماذا هذا الاسم مناسب لو طيفة مسار التفاعل هذا.

9. ما هما ميزتان للتنفس الهوائى مقارنة بالتخمر اللاهوائى؟

10. ما هو الإنزيم المهم الموجود فى الغشاء الداخلى للميتوكوندريا بخلاف تلك الموجودة فى سلسلة نقل الإلكترون؟ اشرح كيف تعتم د وظيفته على سلسلة نقل الإلكترون.

11. صف كيف يستجيب الكبد لـ)أ(فائض و)ب(نقص فى جلو كوز الدم.

الأيض الدهنى والبروتينى 26.3

النتائج التعليمية المتوقعة

عندما تكمل هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف عمليات تحلل وبناء الدهون؛

ب. وصف عمليات تحلل وبناء البروتين؛

ج. شرح المصدر الأيضى للأمونيا وكيف يتخلص الجسم منها؛ و

د. وصف الوظائف العديدة للكبد وشرح سبب خطورة فشل الكبد.

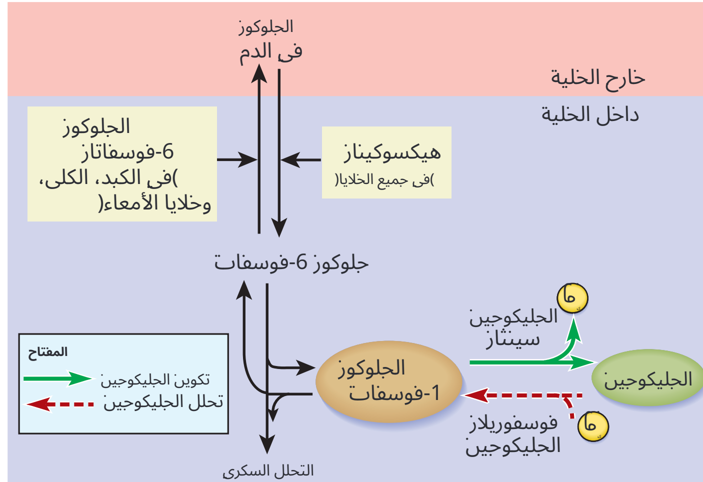
فى المناقشة السابقة، تم تناول تحلل الجلوكوز والتفاعلات الميتوكوند رية من منظور أكسدة الكربوهيدرات. تخدم هذه المسارات أيضًا لأكسدة البروتينات والدهون كوقود ومصدر للوسائط الأيضية التى يمكن استخدامها فى تخليق البروتينات والده ون. هنا نفحص هذه المسارات الأيضية المرتبطة.

26.3أ الدهون

يتم تخزين ثلاثى الجليسريدات بشكل رئيسى فى الخلايا الدهنية فى الجسم، حيث يبقى جزىء الدهون المتوسط حوالى أسبوعين إلى ثلاثة أسابيع. على ا لرغم من أن كمية الدهون المخزنة تبقى ثابتة إلى حد كبير، إلا أن هناك تجددًا مستمرًا حيث يتم إطلاق الدهون، ونقلها فى الدم، إما لأكسدتها للحصول ع لى الطاقة أو إعادة ترسيبها فى خلايا دهنية أخرى. تسمى عملية تخليق الدهو ن من أنواع أخرى من الجزيئات تكوين الدهون، وتسمى عملية تفكيك الدهو ن للحصول على الوقود تحلل الدهون. (lih-POL-ih-sis).

تكوين الدهون

من المعروف أن النظام الغذائى الغنى بالسكريات يسبب تراكم الدهو ن. تستخدم عملية تكوين الدهون مركبات مثل السكريات والأحماض الأمينية لتخليق الجلسرين والأحماض الدهنية، وهما السلفان الثلاثى ا لجليسريد. يمكن تحويل PGAL، وهو أحد الوسائط فى تحلل الجلوكوز، إلى جلسرين. مع دخول الجلوكوز والأحماض الأمينية إلى دورة حمض الستريك عبر أسيتيل-كوإنزيم أ، يمكن أيضًا تحويل أسيتيل-كوإنزيم أ إ لى أحماض دهنية. ثم يمكن تكثيف الجلسرين والأحماض الدهنية لتـ كوين ثلاثى الجليسريد، الذى يمكن تخزينه فى الأنسجة الدهنية أو تحو يله إلى دهون أخرى. تلخص هذه المسارات فى الشكل 26.11.



الشكل 26.10 المسارات الرئيسية لتخزين واستخدام الجلوكوز. فى م عظم الخلايا، يمكن للجلوكوز 1-فوسفات الناتج عن تحلل الجليكوج ين أن يخضع فقط لتحلل الجلوكوز. فى خلايا الكبد والكلى والأمعاء، يمك ن تحويله مرة أخرى إلى جلوكوز حر ويُطلق فى الدورة الدموية.

بعض المصطلحات المتعلقة باستقلاب ال جلوكوز والجليكوجين	الجدول 26.5
التفاعلات الابتنائية)التخليقية(	
تخليق الجليكوجين عن طريق بلمرة الجلوكوز	تكوين الجليكوجين
تخليق الجلوكوز من غير الكربوهيدر ات مثل الجلسرين والأحماض الأمينية	تكوين الجلوكوز من جديد
التفاعلات التحليلية)التحللية(	
انقسام الجلوكوز إلى جزيئين من البيروفات استعد ادًا للتخمر اللاهوائى أو التنفس الهوائى	التحلل السكرى
تحلل الجليكوجين لإطلاق الجلوكوز الحر أو جلوكو ز 1-فوسفات	تحلل الجليكوجين

تتم هذه العملية وفى النهاية تنتج نفس كمية الجلوكوز التى ينتجها ال كبد.
الجدول 26.5 يلخص الفروقات بين تلك المصطلحات المتشابهة
.

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

6. حدد خطوات التفاعل فى الشكلين 26.5 و26.6 التى تحتاج فيها الفيتامينات لتحلل الجلوكوز.

7. فى المختبر، يمكن أكسدة الجلوكوز فى خطوة واحدة إلى $2CO_2$ و $2H_2O$. لماذا تقوم الخلايا الحية بذلك فى العديد من الخطوات الصغيرة؟

لا يمكن لأسيتيل-كوإنزيم A الرجوع إلى الوراء فى مسار التحلل السكرى لإنتاج الجلوكوز، لأن هذا المسار لا يمكن عكسه بعد نقطة البيروفات. على الرغم من أن الجلسرين يمكن استخدامه فى تكوين الجلوكوز، إلا أن الأحماض الدهنية لا يمكنها ذلك.

ذُكر سابقًا أن الدهون لا يمكن أكسدتها بالكامل عندما لا يكون هناك ما يكفى من الكربوهيدرات فى النظام الغذائى. وذلك لأن التفاعلات الميتوكوندرية لا يمكن أن تستمر بدون حمض الأكسالوأسيتيك كمادة ناقلة فى دورة حمض الستريك. عندما لا تتوفر الكربوهيدرات، يتحول حمض الأكسالوأسيتيك إلى جلوكوز ويصبح غير متاح لدورة حمض الستريك. عندها ينتج أكسدة الدهون أجسام كيتون زائدة، مما يؤدى إلى ارتفاع أجسام الكيتون فى الدم *(الكيتوزية)* وربما إلى اختلال فى درجة الحموضة *(الحماض الكيتونى)*. يمكن أن تكون الكيتوزية خطراً جسيماً فى الأنظمة الغذائية منخفضة الكربوهيدرات للغاية.

26.3ب البروتينات

يتحلل حوالى 100 جرام من بروتين الأنسجة يوميًا إلى أحماض أمينية حرة. تتحد هذه مع الأحماض الأمينية من النظام الغذائى لتكوين مخزون الأحماض الأمينية الذى يمكن للخلايا استخدامه لصنع بروتينات جديدة. أسرع معدل لتجديد بروتين الأنسجة يكون فى مخاطية الأمعاء، حيث تكون الخلايا الطهارية قصيرة العمر ويتم استبدالها بسرعة. تُهضم الخلايا الميتة مع الطعام وبالتالى تساهم فى مخزون الأحماض الأمينية. من جميع الأحماض الأمينية التى يمتصها الأمعاء الدقيقة، حوالى 50% تأتى من النظام الغذائى، و25% من الخلايا الطهارية الميتة، و25% من الإنزيمات التى هضمت بعضها البعض.

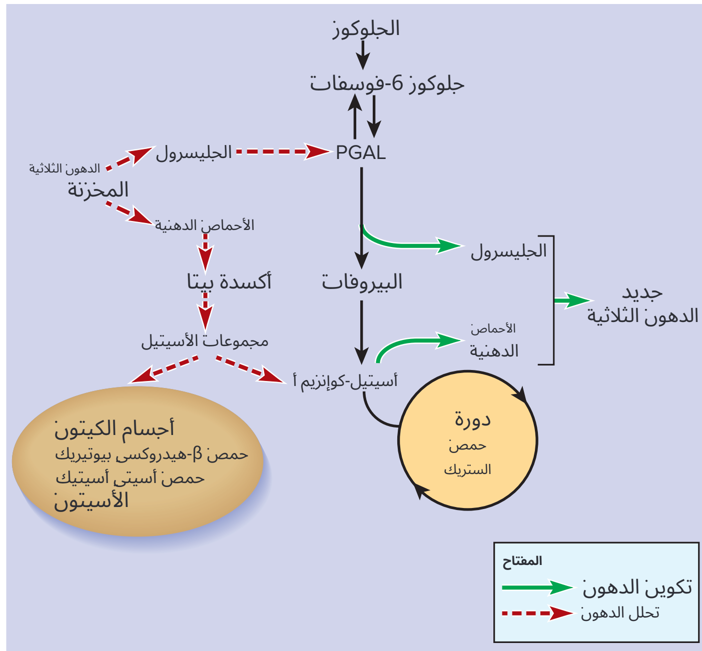
يمكن تحويل بعض الأحماض الأمينية فى المخزون إلى أخرى. يمكن أيضًا تحويل الأحماض الأمينية الحرة إلى جلوكوز ودهون أو استخدامها مباشرة كوقود. تشمل هذه التحويلات ثلاث عمليات: (1) إزالة الأمين، وهى إزالة مجموعة أمين ($—NH_2$)؛ (2) الأميناتيون، إضافة مجموعة $—NH_2$ أو (3) الترانساميناتيشن، نقل مجموعة $—NH_2$ من جزىء إلى آخر. توضح المناقشة التالية كيف تشارك هذه العمليات فى أيض الأحماض الأمينية.

الاستخدام كوقود

الخطوة الأولى فى استخدام الأحماض الأمينية كوقود هى إزالة الأمين منها. بعد إزالة مجموعة $—NH_2$، يُطلق على بقية الجزىء اسم *حمض كيتونى*. اعتمادًا على الحمض الأمينى المعنى، قد يتحول الحمض الكيتونى الناتج إلى البيروفات، أو أسيتيل-كوإنزيم أ، أو أحد أحماض دورة حمض الستريك (الشكل 26.12). من المهم ملاحظة أن بعض هذه التفاعلات قابلة للعكس. عندما يكون هناك نقص فى الأحماض الأمينية فى الجسم، يمكن أن تُأمّن وسائط دورة حمض الستريك وتتحول إلى أحماض أمينية، والتى تصبح متاحة بعد ذلك لتخليق البروتين. فى عملية تكوين الجلوكوز من جديد (gluconeogenesis)، تُستخدم الأحماض الكيتونية لتخليق الجلوكوز، وذلك أساسًا من خلال عكس تفاعلات تحلل الجلوكوز.

الترانسأمين، الأمونيا، واليوريا

عندما يتم إزالة الأمين من الحمض الأمينى، تُنقل مجموعة الأمين إلى وسيط من دورة حمض الستريك، وهو حمض α-كيتوجلوتاريك، مما يحوله إلى حمض الجلوتاميك. تُعد تفاعلات الترانسأمين هذه الطريق التى تدخل من خلالها عدة أحماض أمينية إلى دورة حمض الستريك.



الشكل 26.11 مسارات تحلل الدهون وتكوين الدهون علاقتها بتحلل الجلوكوز ودورة حمض الستريك.

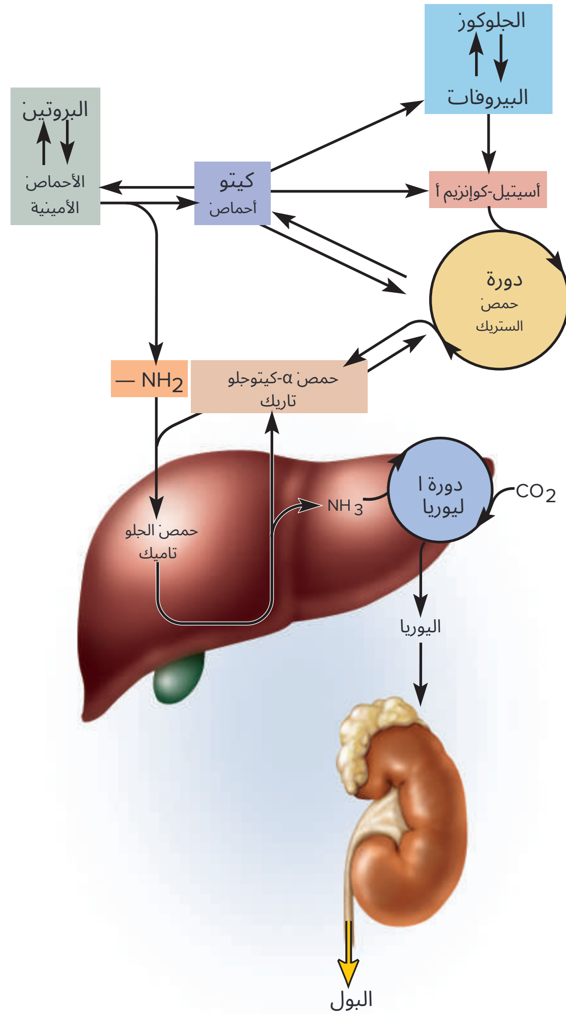
● ما اسم اختلال التوازن الحمضى القاعدى الناتج عن تراكم أجسام الكيتون الموضحة فى الشكل البيضاوى.

تحلل الدهون

يبدأ تحلل الدهون، كما هو موضح فى الشكل 26.11، بتحلل الدهون الثلاثية إلى جليسرول وأحماض دهنية — وهى عملية تحفزها الإبينفرين، النورإبينفرين، الجلوكوكورتيكويدات، هرمون الغدة الدرقية، وهرمون النمو. يتم أكسدة الجليسرول والأحماض الدهنية لاحقًا عبر مسارات منفصلة. يتحول الجليسرول بسهولة إلى PGAL وبالتالى يدخل مسار تحلل الجلوكوز. ومع ذلك، فإنه يولد نصف كمية ATP فقط مقارنة بالجلوكوز، لأنه مركب 3C مقارنة بالجلوكوز (6C)؛ وبالتالى، يؤدى إلى إنتاج نصف كمية البيروفات فقط.

يتم تحلل مكون الأحماض الدهنية فى مصفوفة الميتوكوندريا بواسطة عملية تسمى أكسدة بيتا، التى تزيل ذرتين من الكربون فى كل مرة. ترتبط مجموعات الأسيتيل الناتجة (2C) مع الإنزيم المساعد A لتكوين أسيتيل-كوإنزيم A—وهو نقطة الدخول إلى دورة حمض الستريك. يمكن لحمض دهنى يحتوى على 16 ذرة كربون أن ينتج 129 جزىء ATP—وهو مصدر طاقة أغنى بكثير من جزىء الجلوكوز؛ وتذكر أيضًا أن كل جزىء دهنى يولد 3 أحماض دهنية.

يمكن للكبد أيض مجموعات الأسيتيل الزائدة فى عملية تسمى تكوين الكيتون. يتم تكثيف مجموعتين من الأسيتيل لتكوين حمض الأسيتوأسيتيك، ويتم تحويل جزء منه إلى حمض بيتا-هيدروكسى بيوتيريك والأسيتون. هذه المنتجات الثلاثة هى أجسام الكيتون. تقوم بعض الخلايا بتحويل حمض الأسيتوأسيتيك مرة أخرى إلى أسيتيل-كوإنزيم A وبالتالى تغذية شظايا 2C فى دورة حمض الستريك لاستخلاص طاقتها. ومع ذلك، عندما يقوم الجسم بأكسدة الدهون بسرعة، تتراكم أجسام الكيتون الزائدة. وهذا يسبب الحماض الكيتونى النموذجى لمرض السكرى من النوع الأول، حيث يجب على الخلايا أكسدة الدهون لأنها لا تستطيع امتصاص الجلوكوز.



الشكل 26.12 مسارات أيض الأحماض الأمينية علاقتها بتحلل الجلوكوز ودورة حمص الستريك.

ابحث عن مسار لتكوين الجلوكوز من جديد فى هذا الرسم البيانى.

يمكن لحمص الجلوتاميك أن ينتقل من أى من خلايا الجسم إلى الكبد. هناك، يتم إزالة مجموعة $—NH_2$ الخاصة به، مما يحوله مرة أخرى إلى حمص α-كيتوجلوتاريك. تتحول مجموعة $—NH_2$ إلى الأمونيا (NH_3)، التى تعتبر سامة للغاية للخلايا ولا يمكن السماح بتراكمها. فى مسار يُسمى دورة اليوريا، يقوم الكبد بسرعة بدمج الأمونيا مع ثانى أكسيد الكربون لإنتاج نفايات أقل سمية، وهى اليوريا. يتم بعد ذلك طرح اليوريا فى البول كواحدة من نفايات النيتروجين فى الجسم. يتم وصف نفايات النيتروجين الأخرى ومصادرها فى القسم 23.1ب. عندما لا يستطيع الكبد المريض تنفيذ دورة اليوريا، يتراكم NH_3 فى الدم وقد يؤدى ذلك إلى الوفاة بسبب *غيبوبة الكبد* خلال بضعة أيام.

تخليق البروتين

تخليق البروتين، الموضح بالتفصيل فى القسم 4.2ح، هو عملية معقدة تشمل ا لحمض النووى (DNA)، والحمض النووى الرسول (mRNA)، والحمض النووى ا لناقل (tRNA)، والريبوسومات، وغالبًا الشبكة الإندوبلازمية الخشنة. يتم تحفيزه بواسطة هرمون النمو، وهرمونات الغدة الدرقية، والأنسولين. ويتطلب توفير جم يع الأحماض الأمينية الضرورية لبروتين معين. يمكن للكبد تصنيع العديد من ه ذه الأحماض الأمينية من أحماض أمينية أخرى أو من وسائط دورة حمص الس تريك عن طريق تفاعلات نقل الأمين. ومع ذلك، يجب الحصول على الأحماض ا لأمينية الأساسية من النظام الغذائى.

26.3ح وظائف الكبد فى الأيض

قد تلاحظ أن الكبد يلعب أدوارًا متنوعة فى العمليات التى نوقشت ف ى هذا الفصل—وخاصة أيض الكربوهيدرات والدهون والبروتينات. ع لى الرغم من ارتباطه بالجهاز الهضمى واعتباره غدة هضمية، فإن معظ م وظائفه غير هضمية (الجدول 26.6). باستثناء البلعمة، يتم تنفيذ ج ميعها بواسطة الخلايا الكبدية (الخلايا الكبدية) (الموضحة فى القسم 25 أ4). إن هذا التنوع الوظيفى ملحوظ بالنظر إلى البنية المتجانسة والب سيطة المظهر لهذه الخلايا. وبسبب الوظائف الحيوية العديدة التى يؤد يها الكبد، فإن أمراض الكبد التنكسية مثل التهاب الكبد، والتليف الك بدى، وسرطان الكبد تشكل تهديدًا خطيرًا للحياة (انظر نظرة أعمق 26. 3).

الجدول 26.6	وظائف الكبد
تمثيل الكربوهيدرات يحول الفركتوز والجالاكتوز الغذائيين إلى جلوكوز. يثبت تركيز الجلوكوز فى الدم عن طريق تخزين الجلوكوز الزائد على شكل جليكوجين (تكوين الجليكوجين)، وإطلاق الجلوكوز من الجليكوجين عند الحاجة (تحلل الجليكوجين)، وتخليق الجلوكوز من الدهون والأحماض الأمينية (تكوين الجلوكوز الجديد) عندما يتجاوز الطلب على الجلوكوز مخزون الجليكوجين. يستقبل اللاكتات الناتج عن التخمير اللاهوائى فى العضلات الهيكلية والأنسجة الأخرى ويحولها مرة أخرى إلى بيروفات أو جلوكوز 6-فوسفات. **أيض الدهون** يهضم بقايا الكيلوميكرون. يقوم بمعظم عملية التكوين الدهنى (تخليق الده ون) فى الجسم ويصنع الكوليسترول والفوسفوليبيدات؛ ينتج البرو تينات الدهنية منخفضة الكثافة جدًا (VLDLs) لنقل الدهون إلى الأنسجة الده نية وأنسجة أخرى للتخزين أو الاستخدام؛ ويخزن الدهون فى خلاياه الخاصة.	يقوم بمعظم أكسدة بيتا للأحماض الدهنية؛ ينتج أجسام الكيتون من فائض أسي تيل-كوإنزيم أ. ينتج أغلفة البروتينات الدهنية عالية الكثافة (HDL)، التى تلتقط ا لكوليسترول الزائد من الأنسجة الأخرى وتعيده إلى الكبد؛ ويطرح الكوليسترول الزائد فى الصفراء. **الأيض البروتينى وأحماض الأمينو** يقوم بمعظم عمليات إزالة الأمين ونقل الأمين لأحماض الأمينو. يزيل $—NH_2$ من حمص الجلوتاميك ويحول الأمونيا الناتجة إلى اليوريا ع ن طريق دورة اليوريا. يصنع أحماض أمينو غير أساسية من خلال تفاعلات نقل الأمين. **تخليق بروتينات البلازما** يصنع تقريبًا جميع بروتينات بلازما الدم، بما فى ذلك الألبومين، والغلوبولينات أل فا وبيتا، والفيبرينوجين، والبروثرومبين، وعدة عوامل تخثر أخرى. (لا يصنع إنزيم ات البلازما أو الغلوبولينات غاما).

(متابعة)

الجدول 26.6	وظائف الكبد)تابع(
تمثيل الفيتامينات والمعادن يحول فيتامين د3 إلى الكالسيديول، وهى خطوة فى تخليق الكالسيتريول؛ يخزن مخ زوناً يكفى من فيتامين د لمدة 3 إلى 4 أشهر. كما يخزن مخزوناً يكفى من فيتامين أ ل مدة 10 أشهر، وكمية كافية من فيتامين ب 12 تكفى من سنة إلى عدة سنوات. يفرز الهيبسيدين لتنظيم امتصاص الحديد؛ يخزن الحديد فى الفيريتين ويطل قه حسب الحاجة. يفرز الكالسيوم الزائد عن طريق الصفراء. **الهضم** يصنع أحماض الصفراء والليسيثين، التى تستحلب الدهون وتعزز هضمها؛ ينتج ا لميسيلات التى تساعد فى امتصاص الدهون الغذائية.	**التخلص من الأدوية والسموم والهرمونات** يزيل سمية الكحول والمضادات الحيوية والعديد من الأدوية الأخرى. يستقلب ا لبيليروبين الناتج عن تحلل خلايا الدم الحمراء ويطرحه كصبغات صفراوية. يعطل هرمون الثيروكسين والهرمونات الستيرويدية ويطرحها أو يحولها إلى شكل يسهل على الكلى طرحه. **البلعمة** تنظف البلاعم الدم من البكتيريا والمواد الغريبة الأخرى.



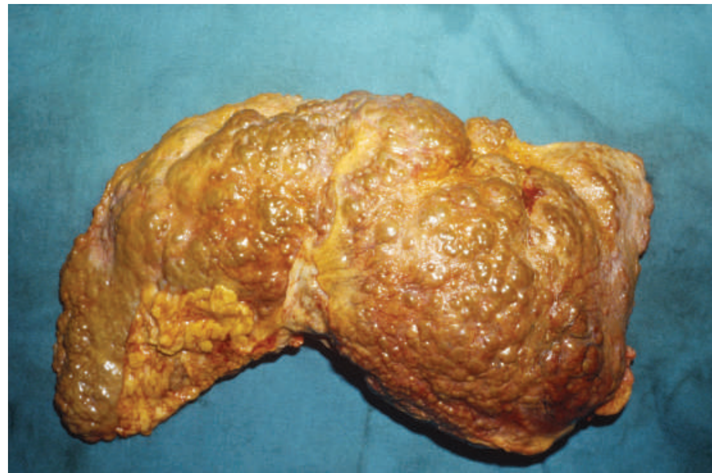
نظرة أعمق 26.3

التطبيق السريرى

التهاب الكبد والتليف الكبدى

التهاب الكبد،[9] التهاب الكبد، عادة ما يسببه أحد الأنواع الستة من فيروسات التها ب الكبد)HVA إلى HVF(. تختلف هذه الأنواع فى طريقة الانتقال، وشدة المرض ا لناتج، والفئات العمرية المتأثرة، وأفضل استراتيجيات الوقاية. التهاب الكبد A)ال تهاب الكبد المعدى(شائع وخفيف. أكثر من 45% من الناس فى المناطق الحضر ية فى الولايات المتحدة قد أصيبوا به. ينتشر بسرعة فى أماكن مثل مراكز رعاية الأ طفال والمؤسسات السكنية للمرضى النفسيين، ويمكن أن يُصاب به الإنسان عن طريق تناول المأكولات البحرية غير المطهية مثل المحار، وكذلك عن طريق تلوث الطعام والماء بمياه الصرف الصحى والانتقال اليدوى الفموى للبراز. يمكن أن يس بب التهاب الكبد A مرضًا يستمر حتى 6 أشهر، لكن معظم الناس يتعافون ويكت سبون مناعة دائمة ضده. التهاب الكبد E، بنفس طريقة الانتقال، نادر فى الولايات المتحدة لكنه سبب مهم للأوبئة المنقولة بالماء والوفيات فى البلدان الأقل ثراءً.

التهاب الكبد B و C أكثر خطورة بكثير فى الولايات المتحدة. كلاهما ينتقلان جنسيًا ومن خلال الدم وسوائل الجسم الأخرى؛ وتفوق نسبة الإصابة بالتهاب الكبد C مرض الإيدز كمرض ينتقل جنسيًا.
تشمل العلامات والأعراض الأولية لالتهاب الكبد التعب، الشعور بالمرض، الغثيان، القيء، وفقدان الوزن. يتضخم الكبد ويصبح مؤلمًا.
اليرقان، أو اصفرار الجلد)انظر الشكل 6.6ب(، يميل إلى الظهور بعد تدمير خلايا الكبد، انسداد ممرات الصفراء، وتراكم أصباغ الصفراء فى الدم. غالبًا ما يؤدى التهاب الكبد B و C إلى التهاب كبدى مزمن، يمكن أن يتطور إلى تليف كبدى أو سرطان الكبد. تتطلب حالات زرع الكبد المزيد بسبب التهاب الكبد C أكثر من أى سبب آخر.
التليف الكبدى[10] هو مرض كبدى التهابى لا رجعة فيه. معظم الحالات تنجم عن تعاطى الكحول، لكن التهاب الكبد، حصى المرارة، التهاب البنكرياس، وحالات أخر ى يمكن أن تسبب ذلك أيضًا. يتطور ببطء على مدى سنوات، لكنه يمتاز بمعدل و فيات مرتفع ويعد من الأسباب الرئيسية للوفاة فى الولايات المتحدة. يتميز بتشوه فى نسيج الكبد حيث تتناوب مناطق النسيج الندبى مع عُقيدات من الخلايا المتجددة، مما يعطى الكبد مظهرًا متكتلًا أو متعرجًا وملمسًا صلبًا)الشكل 26.13(. كما هو الحال فى التهاب الكبد، يؤدى انسداد ممرات الص فراء إلى اليرقان. ينخفض تصنيع البروتين مع تدهور الكبد، مما يؤدى إلى الاستس قاء، ضعف تجلط الدم، وتأثيرات قلبية وعائية أخرى)انظر التعمق 26.4(. يؤدى ان سداد الدورة الدموية الكبدية بواسطة النسيج الندبى إلى تكوّن الأوعية الدموية الج ديدة)angiogenesis(، وهو نمو أوعية دموية جديدة لتجاوز الكبد. مع حرمان الك بد من الدم، تتدهور حالته، مع زيادة النخر وغالبًا فشل الكبد. التوقعات للشفاء غال بًا ما تكون سيئة.



الشكل 26.13 الكبد مع التليف الكبدى.
Biophoto Associates/Getty Images

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

12. أى من العمليات فى الجدول 26.5 هى الأكثر تشابهاً مع تخليق الده ون؟ وأيها الأكثر تشابهاً مع تحلل الدهون؟ اشرح.

13. عندما تتحول الدهون إلى جلوكوز، يُستخدم فقط مكون الجلى سرول بهذه الطريقة، وليس الأحماض الدهنية. اشرح السبب، واذكر ما يحدث للأحماض الدهنية.

14. أى عملية أيضية تُنتج الأمونيا؟ كيف يتخلص الجسم من الأمونيا؟

[9] *الكبد* = الكبد؛ *التهاب* = التهاب
[10] *تليف* = اللون البرتقالى؛ *حالة* = حالة

أو دهون. معظم الدهون التى تُصنع فى الكبد تُطلق فى الدورة الدموية مغلفة فى VLDLs؛ ومصيرها مشابه
لمصير الدهون الغذائية، التى نوقشت لاحقًا.

- الدهون. تدخل الدهون إلى الأوعية اللمفاوية على شكل كيلوم يكرونات وتتجاوز الكبد فى البداية فى طريقها إلى الوريد تحت الترقوى الأيسر، حيث تُفرغ فى مجرى الدم. كما وُصف سابقًا، تقوم ليباز البروتين الدهنى بإزالة الدهون من الكيلوم يكرونات وVLDLs المحمولة فى الدم لامتصاصها من قبل ا لأنسجة، خاصة نسيج الدهون والعضلات. يتخلص الكبد م ن بقايا الكيلوميكرونات. الدهون هى المصدر الأساسى للطاقة لخلايا الكبد، وخلايا الدهون، والقلب، والعضلات.

- الأحماض الأمينية. تدور الأحماض الأمينية، مثل السكريات، أو لاً إلى الكبد. يمر معظمها ويصبح متاحًا للخلايا الأخرى لتخليق ا لبروتين. ومع ذلك، يتم إزالة بعضها بواسطة الكبد ولها أحد ا لمصائر التالية:)1(استخدامها فى تخليق البروتين؛)2(إزالة الأ مين منها واستخدامها كوقود لتخليق ATP؛ أو)3(إزالة الأمين منها واستخدامها فى تخليق الأحماض الدهنية.

تنظيم الحالة الامتصاصية

تنظم الحالة الامتصاصية إلى حد كبير بواسطة الأنسولين، الذى يُفرز ا ستجابةً لارتفاع مستويات الجلوكوز والأحماض الأمينية فى الدم وللهر مونات المعوية الجاسترين، والسكرتين، والكوليسيستوكينين، وببتيد ا لأنسولين المعتمد على الجلوكوز)GIP(. ينظم الأنسولين معدل امتصا ص الجلوكوز من قبل جميع الخلايا تقريبًا باستثناء الخلايا العصبية، وخ لايا الكلى، وكريات الدم الحمراء، التى لها معدلات امتصاص مستقلة. مع هذه الاستثناءات، للأنسولين التأثيرات التالية على خلاياه المستهد فة:

- خلال دقائق، يزيد من امتصاص الخلايا للجلوكوز بحوالى 20 ضعفًا. ومع امتصاص الخلايا للجلوكوز، ينخفض تركيز الجلوكو ز فى الدم.
- يحفز أكسدة الجلوكوز وتكوين الجليكوجين وتكوين الدهون.
- يمنع تكوين الجلوكوز الجديد، وهذا منطقى لأن تركيز الجلو كوز فى الدم مرتفع بالفعل ولا توجد حاجة فورية للمزيد.

الحالات الأيضية و معدل الأيض **26.4**

النتائج التعليمية المتوقعة

عندما تكمل هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. تعريف حالات الامتصاص وما بعد الامتصاص؛
ب. شرح ما يحدث للكربوهيدرات والدهون والبروتينات فى كل من هذه الحالات؛
ج. وصف التنظيم الهرمونى والعصبى لكل حالة؛
د. تعريف معدل الأيض و معدل الأيض القاعدى؛ و
هـ. وصف بعض العوامل التى تغير معدل الأيض.

يتغير الأيض من ساعة إلى أخرى اعتمادًا على المدة التى انقضت منذ آخر وجبة. تسود حالة الامتصاص)المغذى(لمدة حوالى ٤ ساعات أثنا ء وبعد الوجبة. هذه فترة يتم فيها امتصاص المغذيات وقد تُخزن أو تُستخدم فورًا لتلبية احتياجات الطاقة والاحتياجات الأخرى. تسود حال ة ما بعد الامتصاص)الصيام(فى أواخر الصباح، وأواخر بعد الظهر، وخ لال الليل. خلال هذه الفترة، يكون المعدة والأمعاء الدقيقة فارغتين و يتم تلبية احتياجات الجسم من الطاقة من الوقود المخزن.

يتم مقارنة الحالتين فى الجدول 26.7 وشرحها فى النقاش التالى.

26.4أ الحالة الامتصاصية

فى الحالة الامتصاصية، يكون الجلوكوز فى الدم متاحًا بسهولة لتخليق ATP. فهو يعمل كوقود أساسى ويوفر على الجسم الحاج ة إلى استخدام الوقود المخزن. حالة الفئات الغذائية الرئيسية خلال هذ ه المرحلة هى كما يلى:

- الكربوهيدرات. يتم نقل السكريات الممتصة عبر الجهاز البابى الكبدى إلى الكبد. يمر معظم الجلوكوز عبر الكبد ويصبح متاحًا للخلايا فى جميع أنحاء الجسم. ومع ذلك، يتم امتصاص الجلوكوز الزائد عن الحاجة الفورية من قبل الكبد وقد يتحول إلى جليكوجين

الجدول 26.7 الجوانب الرئيسية لحالات الامتصاص وما بعد الامتصاص

	حالة الامتصاص	حالة ما بعد الامتصاص
الهرمونات المنظمة	الأنسولين بشكل رئيسى أيضًا الجاسترين، السيكرتين، CCK، وGIP	الجلوكاجون بشكل رئيسى أيضًا الأدرينالين، هرمون النمو
تمثيل الكربوهيدرات	ارتفاع سكر الدم امتصاص الجلوكوز تخزين الجلوكوز عن طريق تكوين الجليكوجين كبح تكوين الجلوكوز الجديد	انخفاض سكر الدم إطلاق الجلوكوز عن طريق تحلل الجليكوجين تحفيز تكوين الجلوكوز الجديد
الأيض الدهنى	حدوث تكوين الدهون امتصاص الدهون من الكيلومكرونات تخزين الدهون فى الدهون والعضلات	حدوث تحلل الدهون أكسدة الأحماض الدهنية كوقود استخدام الجلسرين فى تكوين الجلوكوز الجديد
الأيض البروتينى	امتصاص الأحماض الأمينية، تخليق البروتين أكسدة الأحماض الأمينية الزائدة كوقود	أكسدة البروتينات كوقود إذا كانت مخازن الجليكوجين والدهون غير كافية لتلبية احتياجات الطاقة

ومع انخفاض مستوى الجلوكوز في الدم، ينخفض إفراز الأنسولين وت فرز خلايا ألفا البنكرياسية الغلاغون. يعزز الغلاغون تحلل الجليكوجين و تكوين الجلوكوز من مصادر غير كربوهيدراتية، مما يرفع مستوى الجلو كوز في الدم، كما يعزز تحلل الدهون وارتفاع مستويات الأحماض الده نية الحرة. وبالتالي، يجعل كلًا من الجلوكوز والدهون متاحين كمصدر للطاقة.

يعمل الجهاز الودي الكظري أيضًا على تعزيز تحلل الجليكوجين و تحلل الدهون، خاصة في حالات الإصابة أو الخوف أو الغضب أو أشكا ل أخرى من التوتر. الأنسجة الدهنية مزودة بغزارة بالأعصاب من الجها ز العصبي الودي، بينما تستجيب الخلايا الدهنية وخلايا الكبد وخلايا ا لعضلات أيضًا للأدرينالين من لب الغدة الكظرية. في الظروف التي يح تمل فيها حدوث إصابة في الأنسجة والحاجة إلى إصلاح، يقوم الجهاز ا لودي الكظري بتحريك مخزون الطاقة المخزن وجعله متاحًا لتلبية متط لبات إصلاح الأنسجة. كما يحفز التوتر إفراز الكورتيزول، الذي يعزز تح لل الدهون والبروتينات وتكوين الجلوكوز.

يُفرز هرمون النمو استجابةً لانخفاض سريع في مستوى الجلوكوز في الدم وفي حالات الصيام المطول. يعارض الأنسولين ويرفع تركيز ا لجلوكوز في الدم.

26.4ح معدل الأيض

معدل الأيض يعني كمية الطاقة التي يتم تحريرها في الجسم لكل وحدة زمنية، ويُعبر عنه بمصطلحات مثل كيلو كالوري/ساعة أو كيلو كالوري/يوم. يمكن قياس معدل الأيض مباشرة بوضع الشخص في جهاز قياس ا لسعرات الحرارية، وهو حجرة مغلقة ذات جدران مملوءة بالماء تمتص الحرارة المنبعثة من الجسم. يُقاس معدل إطلاق الطاقة من تغير درج ة حرارة الماء. كما يمكن قياس معدل الأيض بشكل غير مباشر باستخ دام مقياس التنفس)انظر الشكل 22.17(، الذي يقيس كمية الأكسج ين التي يستهلكها الشخص. لكل لتر من الأكسجين، يتم إطلاق حوالي 4.82 كيلو كالوري من الطاقة من المغذيات العضوية. هذا مجرد تقد ير، لأن عدد الكيلو كالوري لكل لتر من الأكسجين يختلف قليلاً حسب نوع المغذيات التي يحرقها الشخص في وقت القياس.

يعتمد معدل الأيض على النشاط البدني، والحالة الذهنية، وحالة ا لامتصاص أو ما بعد الامتصاص، وهرمون الغدة الدرقية وهرمونات أخ رى، وعوامل أخرى. معدل الأيض القاعدي)BMR(هو خط الأساس أ و معيار للمقارنة يقلل من تأثير هذه المتغيرات. هو معدل الأيض عند ما يكون الشخص مستيقظًا لكنه مسترخي، في غرفة ذات درجة حرارة مريحة، وفي حالة ما بعد الامتصاص بعد 12 إلى 14 ساعة من آخر و جبة. ليس هو الحد الأدنى لمعدل الأيض اللازم للحياة. عندما يكون ال شخص نائمًا، يكون معدل الأيض أقل قليلاً من معدل الأيض القاعدي . معدل الأيض الكلي)TMR(هو مجموع معدل الأيض القاعدي والط اقة المصروفة للأنشطة الطوعية، خاصة انقباضات العضلات.

معدل الأيض القاعدي للبالغ المتوسط حوالي 2000 كيلو كالوري/ يوم للذكور وأقل بحوالي 5% للإناث. وبشكل تقريبي، يجب على الشخ ص استهلاك ما لا يقل عن 2000 كيلو كالوري/يوم لتوفير الطاقة للمه ام الأيضية الأساسية — النقل النشط، توتر العضلات، نشاط الدماغ، إ يقاعات القلب والتنفس، وظائف الكلى، وغيرها من العمليات الأسا سية. حتى نمط الحياة المستقرة نسبيًا يتطلب حوالي 500 كيلو كالور ي إضافية يوميًا لدعم مستوى منخفض من النشاط البدني، وقد يح تاج من يقوم بأعمال بدنية شاقة إلى ما يصل إلى 5000 كيلو كالوري/ يوم.

- يحفز النقل النشط للأحماض الأمينية إلى الخلايا ويعزز تخليق البروتين.
- يؤثر على الدماغ كإشارة للسمنة، مؤشر على مخزون الدهون في الجسم.

بعد وجبة عالية البروتين ومنخفضة الكربوهيدرات، قد يبدو أن الأ حماض الأمينية ستُحفز إفراز الأنسولين؛ فالأنسولين يسرع من امتصا ص كل من الأحماض الأمينية والجلوكوز؛ ونظرًا \لوجود كمية قليلة ن سبيًا من الجلوكوز في الطعام المتناول، فهذا قد يخلق خطر انخفاض سكر الدم. في الواقع، يتم منع ذلك بحقيقة أن مستوى الأحماض الأم ينية العالي يحفز إفراز كل من الأنسولين والجلوكاجون. قد تتذكر أن ا لجلوكاجون هو مضاد للأنسولين. يدعم مستوى كافٍ من الجلوكوز في الدم لتلبية احتياجات الدماغ.

26.4ب الحالة بعد الامتصاص

جوهر الحالة بعد الامتصاص هو تنظيم تركيز الجلوكوز في البلازما بشكل توازني ضمن حوالي 90 إلى 100 ملغ/ديسيلتر. هذا أمر حاسم بشكل خاص للدماغ، الذي لا يمكنه استخدام مصادر طا قة بديلة إلا في حالات الصيام المطول. الحالة بعد الامتصاص للمغذيا ت الرئيسية كما يلي:

- الكربوهيدرات. يُستمد الجلوكوز من مخازن الجليكوجين في ال جسم)تحلل الجليكوجين(أو يُصنع من مركبات أخرى)تكوين الجلوكوز من جديد(. عادةً ما يخزن الكبد كمية كافية من الج ليكوجين بعد الوجبة لدعم 4 ساعات من الأيض بعد الامتصا ص قبل حدوث تكوين جلوكوز كبير.

- الدهون. تقوم الخلايا الدهنية وخلايا الكبد بتحليل الدهون وتحو يل الجلسرين إلى جلوكوز. الأحماض الدهنية الحرة)FFAs(لا يمكن تحويلها إلى جلوكوز، لكنها تؤثر إيجابيًا على تركيز الج لوكوز في الدم. بينما يقوم الكبد بأكسدتها إلى أجسام كيتونية ، تمتصها خلايا أخرى وتستخدمها، أو تستخدم الأحماض الده نية الحرة مباشرة كمصدر للطاقة. عن طريق التحول من استقلا ب الجلوكوز إلى استقلاب الأحماض الدهنية، تُترك الجلوكوز لا ستخدام الدماغ)تأثير توفير الجلوكوز(. بعد 4 إلى 5 أيام من الص يام، يبدأ الدماغ باستخدام الأجسام الكيتونية كوقود تكميلي.

- البروتينات. إذا استُنفدت مخازن الجليكوجين والدهون، ي بدأ الجسم في استخدام البروتينات كوقود. بعض البروتينا ت أكثر مقاومة للتحلل من غيرها. الكولاجين نادرًا ما يُك سر لاستخدامه كوقود، لكن بروتين العضلات يتحلل بسرعة . الأشخاص المصابون بالسرطان وبعض الأمراض المزمنة الأخر ى قد يطهرون الهزال [11])كا-كيس-يا(، وهو هزال شديد بسبب تغير الأيض وفقدان الشهية)فقدان الشهية(.

تنظيم الحالة بعد الامتصاص

الأيض بعد الامتصاص أكثر تعقيدًا من حالة الامتصاص. يتم تنظيمه بشكل رئيسي بوا سطة الجهاز العصبي الودي والغلاغون، لكن هناك عدة هرمونات أخرى تشارك في ذلك.

---

[11] *cac* = سيء؛ *exia* = حالة الجسم

ارتفاع حرارة الجسم إلى تسريع بعض مسارات الأيض على حساب ا لأخرى وتعطيل تنسيقها إلى درجة أن هذا، أيضًا، يمكن أن يؤدى إلى ا لوفاة. لذلك، فإن تنظيم الحرارة ، وهو التوازن بين إنتاج الحرارة وفقدا نها، هو جانب بالغ الأهمية من جوانب التوازن الداخلى)الاستتباب(.

26.5أ درجة حرارة الجسم

تعتمد درجة حرارة الجسم "الطبيعية" على متى وأين وفى من يتم قياسها. تتقلب درجة حرارة الجسم حوالى 1 درجة مئوية)1.8 درجة فهرنهايت(خلا ل دورة مدتها 24 ساعة. تميل إلى أن تكون الأدنى فى الصباح الباكر والأع لى فى وقت متأخر من بعد الظهر. كما تختلف درجة الحرارة من مكان إلى آخر داخل الجسم نفسه. يكون الجسم أكثر دفئًا فى نواته العميقة *core*و برد بالقرب من السطح، أى *shell*.

أهم درجة حرارة فى الجسم هى درجة حرارة **core** — وهى درجة حر ارة الأعضاء فى تجاويف الجمجمة والصدر والبطن. أفضل تقدير لدرجة حرارة النواة يمكن الحصول عليه بسهولة هو درجة الحرارة الشرجية: عادة ما تكون بين 37.2° إلى 37.6° مئوية)99.0° إلى 99.7° فهرنهايت(، و لكن قد تصل إلى 38.5° مئوية)101° فهرنهايت(عند الأطفال النشطي ن وبعض البالغين. درجة حرارة shell هى درجة الحرارة الأقرب إلى ال سطح، وخاصة درجة حرارة الجلد والفم. هنا، يفقد الجسم الحرارة وتكون درجات الحرارة أقل قليلاً من درجة الحرارة الشرجية. عادة ما تكون درجة حرارة الفم عند البالغين بين 36.6° إلى 37.0° مئوية)97.9° إلى 98.6° فهرنهايت(ولكن قد تصل إلى 40° مئوية)104° فهرنهايت(أثناء التمار ين الشاقة. تتقلب درجة حرارة shell نتيجة للعمليات التى تهدف إلى ا لحفاظ على درجة حرارة core مستقرة.

تعد الدورة الدموية ضرورية لتنظيم الحرارة. نعتمد على تدفق الدم لنقل الحرارة الأيضية من نواة الجسم إلى shell حيث يمكن تبديدها فى البيئة. بدون هذا "تأثير المشعاع"، كنا سنموت بسرعة من فرط ا لحرارة حيث ترفع الحرارة الأيضية درجة حرارة النواة إلى ما يتجاوز نطا ق البقاء على قيد الحياة.

26.5ب إنتاج وفقدان الحرارة

تأتى معظم حرارة الجسم من التفاعلات الكيميائية الطاردة للطاقة)الإك سيرجونية(مثل أكسدة المغذيات واستخدام ATP. يتم توليد كمية صغير ة من الحرارة بسبب احتكاك المفاصل وتدفق الدم والحركات الأخرى. فى حالة الراحة، يتم توليد معظم الحرارة بواسطة الدماغ والقلب والكبد والغد د الصماء؛ تساهم العضلات الهيكلية بحوالى 20% إلى 30% من إجمالى الحر ارة فى حالة الراحة. ومع ذلك، فإن زيادة توتر العضلات أو ممارسة التمارين ا لرياضية تزيد بشكل كبير من توليد الحرارة فى العضلات؛ ففى التمارين الشد يدة، تنتج العضلات 30 إلى 40 ضعف كمية الحرارة التى ينتجها باقى الجسم.

يفقد الجسم الحرارة بأربع طرق: الإشعاع، التوصيل، الحمل، والت بخر:

1. الإشعاع هو انبعاث أشعة تحت الحمراء)IR(بواسطة الجزيئات المتحركة. فى الجوهر، *الحرارة* تعنى حركة الجزيئات، وكل ح ركة جزيئية تنتج إشعاعًا تحت أحمر. عندما يمتص جسم ما أشع ة تحت الحمراء، تزداد حركة جزيئاته ودرجة حرارته. لذلك، يزيل الإشعاع تحت الأحمر الحرارة من مصدره ويضيف الح رارة إلى أى شىء يمتصه. تعمل مصابيح الحرارة فى الحماما ت ومطابخ المطاعم على هذا المبدأ. تتلقى أجسامنا باستمرا ر إشعاعًا تحت أحمر من الأشياء المحيطة بنا وتعطى إشعاعًا تح ت أحمر إلى محيطنا. وبما أننا عادةً أكثر دفئًا من الأشياء حولنا، فإننا عادةً نفقد حرارة أكثر بهذه الطريقة مما نكتسب.

بجانب النشاط البدنى، هناك بعض العوامل التى تزيد من معدل الأيض ا لكلى)TMR(ومتطلبات السعرات الحرارية، منها الحمل، والقلق)الذى يحفز إفر از الأدرينالين وتوتر العضلات(، والحمى)يرتفع معدل الأيض الكلى حوالى 14% لكل زيادة 1 درجة مئوية فى درجة حرارة الجسم(، وتناول الطعام)يرتفع معدل ا لأيض بعد الوجبة(، وهرمونات الكاتيكولامين والغدة الدرقية. يكون معدل الأي ض الكلى مرتفعًا نسبيًا عند الأطفال وينخفض مع التقدم فى العمر. لذلك، عند ما نصل إلى منتصف العمر، غالبًا ما نجد أنفسنا نكتسب وزنًا دون تغيير واضح فى كمية الطعام المتناولة.

بعض العوامل التى تخفض معدل الأيض الكلى تشمل اللامبالاة، والاكتئاب، والجوع المطول. فى حميات فقدان الوزن، يكون الفقدان سريعًا فى البداية ثم يصبح أبطأ. ويرجع ذلك جزئيًا إلى أن الفقدان الأو لى يكون فى الغالب من الماء، وجزئيًا لأن معدل الأيض الكلى ينخف ض مع الوقت، مما يعنى أن سعرات الطعام تُستهلك أقل، ويزداد تكو ين الدهون حتى مع نفس كمية السعرات الحرارية المتناولة. عندما يق لل الشخص من تناول الطعام، يقلل الجسم من معدل الأيض للحفاظ على كتلة الجسم—مما يجعل فقدان الوزن أكثر صعوبة.

قبل المتابعة

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

15. عرف حالة الامتصاص وحالة ما بعد الامتصاص. فى أى حالة يخزن الجسم الوقود الزائد؟ وفى أى حالة يستمد الجسم الوقود م ن هذه المخزونات؟
16. ما هو الهرمون الذى ينظم بشكل أساسى حالة الامتصاص، وما هى التأثيرات الرئيسية لهذا الهرمون؟
17. اشرح لماذا للدهون الثلاثية تأثير موفر للجلوكوز.
18. اذكر مجموعة متنوعة من العوامل والظروف التى ترفع معدل الأيض الكلى للشخص فوق معدل الأيض القاعدى.

26.5 حرارة الجسم و تنظيم الحرارة

النتائج التعليمية المتوقعة

عندما تكمل هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. تحديد المصادر الرئيسية لحرارة الجسم؛

ب. وصف بعض العوامل التى تسبب تغيرات فى درجة حرارة ا لجسم؛

ج. تعريف ومقارنة الأشكال المختلفة لفقدان الحرارة؛

د. وصف كيف يراقب ويُسيطر الوطاء على درجة حرارة الجسم؛ و

هـ. وصف الحالات التى تكون فيها درجة حرارة الجسم مرتفعة أو منخفضة بشكل مفرط.

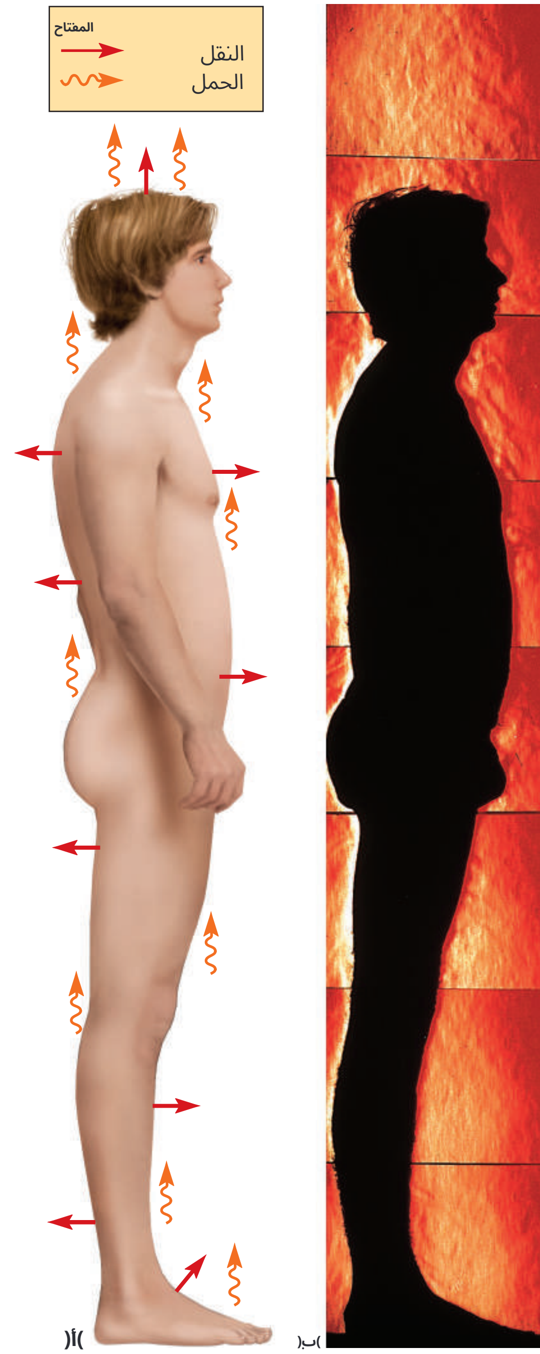
تعتمد الإنزيمات التى تتحكم فى الأيض لدينا على درجة حرارة عمل م ستقرة ومثالية. للحفاظ على ذلك، يجب أن تتوازن معدلات توليد حرارة الأيض وفقدان الحرارة من الجسم. يمكن أن يؤدى انخفاض درجة حرارة ا لجسم بشكل مفرط، والذى يُسمى انخفاض حرارة الجسم إلى إبطاء الأ يض إلى درجة لا يمكن معها الحفاظ على الحياة. وعلى العكس، يمكن أ ن تؤدى درجة حرارة الجسم المرتفعة بشكل مفرط، والتى تُسمى

2. التوصيل هو انتقال الطاقة الحركية من جزيء إلى آخر عند تصادمهم مع بعضهم البعض. يتم توصيل الحرارة المتولدة في لب الجسم إلى السطح عبر الأنسجة، ثم تُفقد من الجسم عن طريق التوصيل من الجلد إلى أي أجسام أو وسط أبرد على اتصال به. تضيف دفء جسمك إلى حركة جزيئات ملابسك، والكرسي الذي تجلس عليه، والهواء من حولك، أو الماء إذا ذهبت للسباحة أو جلست في حمام بارد. مع هذا الانتقال للطاقة الحركية إلى محيطك، تفقد حرارة جسمك. يمكنك أيضًا اكتساب الحرارة عن طريق التوصيل، كما في يوم حار جدًا عندما تكون درجة حرارة الهواء أعلى من درجة حرارة غلاف جسمك، أو عندما تستخدم وسادة تدفئة للعضلات المؤلمة، أو تستمتع بحوض استحمام ساخن، أو تستلقي على رمال ساخنة على الشاطئ.

3. الحمل هو انتقال الحرارة إلى سائل متحرك—الدم، الهواء، أو الماء. يتم نقل معظم الحرارة المتولدة من الأيض في لب الجسم عن طريق الحمل في مجرى الدم إلى سطح الجسم. عند سطح الجلد، تدفئ حرارة الجسم الهواء المجاور. الهواء الدافئ أقل كثافة من الهواء البارد، لذا يرتفع عن الجسم ويحل محله هواء أبرد من الأسفل.
يمكن تصور ذلك باستخدام تقنية تسمى *التصوير شليرين*)الشكل 26.14(. يفعل الماء ذلك أيضًا إذا وقف الشخص ثابتًا بما فيه الكفاية في بحيرة باردة. يُسمى هذا النوع من حركة السائل الناتجة بالكامل عن تغير درجة حرارته وكثافته الحمل الطبيعي. عندما يكون حركة الهواء مدفوعة بمروحة أو الرياح، حتى لو لم يكن الهواء نفسه أبرد، فإنه يحمل الحرارة بعيدًا عن الجسم بشكل أسرع. يُسمى هذا التأثير الحمل القسري، وهو السبب في أننا نشعر بالبرودة في يوم عاصف حتى عند نفس درجة الحرارة مقارنة بيوم ساكن الهواء. وهو الأساس لعامل *برودة الرياح* في يوم بارد وعاصف. يزيد الحمل القسري من فقدان الحرارة عن طريق كل من التوصيل والتبخر)الذي سيناقش لاحقًا(، لكنه لا يؤثر على الإشعاع.

4. التبخر هو التحول من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية. تعيق تماسك جزيئات الماء اهتزازاتها استجابةً لإدخال الحرارة. ومع ذلك، إذا ارتفعت درجة حرارة الماء بما فيه الكفاية، تصبح حركة جزيئاته كبيرة بما يكفي لتسمح للجزيئات بالتحرر والتبخر.
يحمل تبخر الماء كمية كبيرة من الحرارة معه)0.58 كيلو كالوري لكل جرام من الماء(. هذه هي أهمية التعرق. يبلل العرق سطح الجلد وتحمل تبخره الحرارة بعيدًا. في الظروف القصوى، يمكن للجسم أن يفقد 2 لتر أو أكثر من العرق ويبدد حتى 600 كيلو كالوري من الحرارة في الساعة عن طريق الفقدان التبخري. يزداد فقدان الحرارة بالتبخر بفعل الحمل القسري، كما يمكنك أن تشعر بسهولة عندما تكون متعرقًا وتقف أمام مروحة أو يبدأ نسيم منعش في الهبوب.

تعتمد النسب النسبية لفقدان الحرارة بطرق مختلفة على الظروف السائدة. يفقد الجسم العاري في هواء ساكن عند 21 درجة مئوية)70 درجة فهرنهايت(حوالي 60% من حرارته عن طريق الإشعاع، و18% عن طريق التوصيل والحمل، و22% عن طريق التبخر. إذا كانت درجة حرارة الهواء أعلى من درجة حرارة الجلد، يصبح التبخر الوسيلة الوحيدة لفقدان الحرارة لأن الإشعاع والتوصيل يضيفان حرارة أكثر إلى الجسم مما يزيلانه منه. تعيق الأجواء الحارة والرطبة حتى التبريد بالتبخر بسبب انخفاض تدرج الرطوبة من الجلد إلى الهواء. تزيد هذه الظروف من خطر ضربة الحرارة)التي ستناقش لاحقًا(.



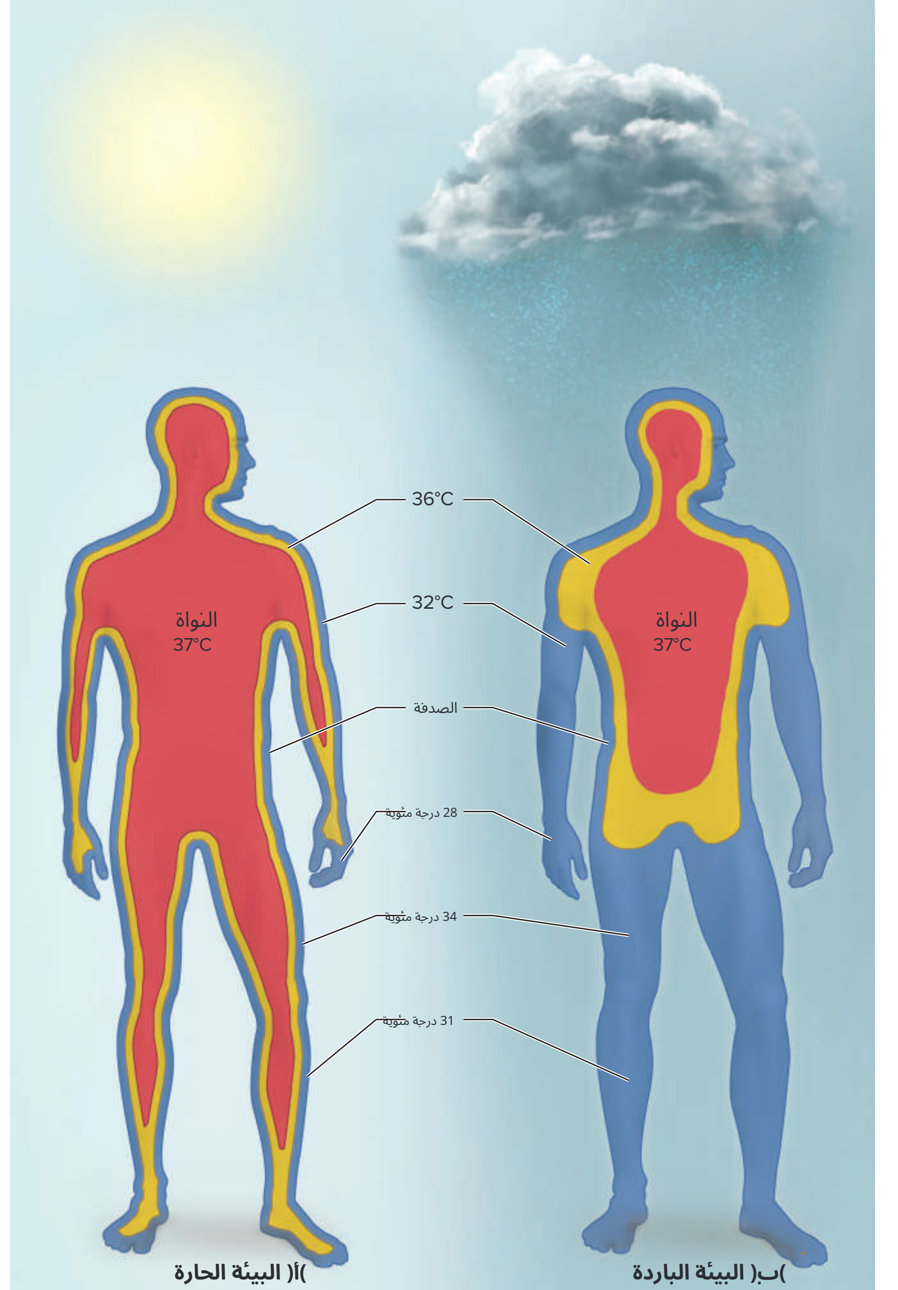
الشكل 26.14 فقدان الحرارة عن طريق التوصيل والحمل.)أ(تنتقل الحرارة من الجسم إلى جزيئات الهواء المحيطة عن طريق التوصيل. ثم يرتفع الهواء الدافئ عن الجسم بواسطة الحمل، حاملاً الحرارة بعيدًا. يحل الهواء البارد محل هذا الهواء الدافئ من الأسفل.)ب(صورة شليرين لعمود الهواء الدافئ الصاعد من الجسم.

b: الدكتور راي كلارك FRPS/Science Source

26.5 درجة مئوية تنظيم الحرارة

يتم تحقيق تنظيم الحرارة من خلال عدة حلقات تغذية راجعة سلبية تتحكم في تدفق الدم الجلدي وآليات أخرى لرفع أو خفض درجة حرارة الجسم. المنطقة قبل البصرية من الوطاء)أمامية للتقاطع البصري(تعمل كـ

عبر الجلد بشكل عام، الذي لم يعزل بعد بكثير من الدهون تحت الجلد. عضلاتهم غير متطورة جيدًا، لذا لا يولدون الكثير من الحرارة وهم غير قادرين على الارتعاش. جهازهم العصبي غير متطور بما يكفي للحفاظ على الحرارة عن طريق تضييق الأوعية الدموية الجلدية. وبالطبع، لا يس تطيع الرضع القيام بأشياء لتدفئة أنفسهم مثل الابتعاد عن البرد، أو ار تداء المزيد من الملابس، أو حتى سحب بطانية فوق أنفسهم. لذلك، يُعد النسيج الدهني البني مهمًا جدًا للرضع كمصدر للحرارة.



الشكل 26.15 توزيع حرارة الجسم في البيئات الحارة والباردة.
)أ(في بيئة حارة، يحمل توسع الأوعية الدموية الجلدية الحرارة بالقرب من سطح الجسم و تكون القشرة رقيقة نسبيًا.)ب(في بيئة باردة، يحتفظ تضيق الأوعية الدموية الجلدية بالحرارة أعمق في الجسم وتكون القشرة العازلة أكثر سمكًا بشكل ملحوظ. من السهل أن نرى من هذا السبب الذي يجعل قضمة الصقيع تؤثر كثيرًا على الأطراف مثل الأصا بع وأصابع القدم.

منظم حرارة الوطاء. يراقب درجة حرارة الدم أ ويتلقى إشارات أيضًا من النهايات العصبية المسماة مستقبلات الحر ارة الطرفية الموجودة بشكل رئيسي في الجلد. بدوره، يرسل إشارات إ ما إلى مركز فقدان الحرارة، وهو نواة تقع أبعد إلى الأمام في الوطاء، أ و إلى مركز تعزيز الحرارة، وهو نواة أكثر خلفية.

عندما يشعر مركز فقدان الحرارة بأن درجة حرارة الدم مرتفعة جدًا ، فإنه ينشط آليات فقدان الحرارة. أول وأبسط هذه الآليات هو توسع ا لأوعية الدموية الجلدية، الذي يزيد من تدفق الدم إلى غلاف الجسم)الجلد والأنسجة تحت الح لد(وبالتالي يعزز فقدان الحرارة. في الظروف الدافئة، ق د يكون الغلاف، أو منطقة الأنسجة الباردة نسبيًا، أقل م ن 1 سم سمكًا)الشكل 26.15أ(. إذا فشل توسع الأوع ية الجلدية في استعادة درجة الحرارة الطبيعية، يقوم مر كز فقدان الحرارة بتحفيز التعرق. كما يمنع مركز تعزيز ا لحرارة.

عندما تكون درجة حرارة الدم منخفضة جدًا، يقوم مركز تعزيز الحرارة بتنشيط آليات للحفاظ على حرارة ال جسم أو توليد المزيد منها. عبر الجهاز العصبي الودي، يسبب تضيق الأوعية الدموية الجلدية. هذا يحول الدم ا لدافئ بعيدًا عن القشرة ويحتفظ به أعمق في الجسم بحيث يفقد الجلد حرارة أقل. قد تكون القشرة الباردة بعد ذلك بسماكة عدة سنتيمترات)الشكل 26.15ب(. في التدييات الأخرى، يحفز الجهاز العصبي الودي أيضًا عضلات القاعدة الشعرية، التي تجعل الشعر يقف من تصبًا. هذا يحبس بطانية عازلة من الهواء الساكن بالقر ب من الجلد. يحاول الجهاز العصبي الودي البشري الق يام بذلك أيضًا، ولكن نظرًا لأن شعر أجسامنا خفيف ح دًا، فإن التأثير الملحوظ عادةً هو ظهور قشعريرة الجلد.

إذا لم يستطع تضيق الأوعية الدموية الجلدية اس تعادة أو الحفاظ على درجة حرارة النواة الطبيعية، يلجأ ا لجسم إلى التوليد الحراري بالارتعاش. إذا خرجت من م نزل دافئ في يوم بارد جدًا، قد تلاحظ أن عضلاتك تص بح متوترة، وأحيانًا مشدودة بشكل مؤلم، وتبدأ بالارتعا ش. يشمل الارتعاش رد فعل شوكي يسبب انقباضات صغيرة متبادلة في أزواج العضلات المتضادة. كل انق باض عضلي يطلق حرارة من ATP، ويمكن للارتعاش أ ن يزيد إنتاج حرارة الجسم حتى أربعة أضعاف.

التوليد الحراري غير الارتعاشي هو آلية طويلة الأمد لتوليد الحرارة، تحدث خاصة في الفصول الباردة من ا لسنة. يرفع الجهاز العصبي الودي معدل الأيض بنسبة تصل إلى 30% بعد عدة أسابيع من الطقس البارد. تُحر ق المزيد من المغذيات كوقود؛ نستهلك سعرات حرار ية أكثر لـ"تغذية الفرن"؛ ونتيجة لذلك، يكون لدينا شهي ة أكبر في الشتاء مقارنة بالصيف. يولد الرضع الحرارة م ن خلال تحلل النسيج الدهني البني)BAT(، حيث لا ير تبط تحلل الدهون بتخليق ATP، لذا فإن كل الطاقة الم نبعثة من الدهون تكون على شكل حرارة)انظر القسم 5 .3ح(.

الرضع معرضون بشكل خاص لخطر انخفاض حرارة الج سم لأسباب عدة. عند تعرضهم للبرد، يفقدون الحرارة بسرعة عبر رؤوسهم الكبيرة نسبيًا و

كانت مصحوبة برطوبة عالية، مما يعيق التبريد بالتبخر. تبدأ ضربة ال شمس عندما تصل درجة الحرارة المركزية إلى 41 درجة مئوية)104 د رجة فهرنهايت(أو تتجاوزها. يتميز الجفاف الشديد بعدم وجود تعرق؛ وتشعر البشرة بالجفاف والاحمرار. يسبب التوسع الوعائي الجلدي الم فرط، وهو رد فعل تلقائي مبالغ فيه لفقدان الحرارة، انخفاضًا حادًا في ضغط الدم وتروية الدماغ. وهذا بدوره يمكن أن يسبب الارتباك، وفقدا ن الوعي، والغيبوبة. تتكون جلطات دموية في جميع أنحاء الجهاز الوعا ئي *)تخثر منتشر داخل الأوعية الدموية، DIC);* تتحلل عضلات الهيكل العظمي والقلب وتبدأ في الموت؛ وال كلى، التي تحتقن بالمايوغلوبين المنبعث من العضلات الميتة، تبدأ أ يضًا في الفشل. يؤدي تدهور الأوعية الدموية إلى وذمة دماغية ونخر، وتتعطل مراكز القلب والأوعية الدموية وتنظيم الحرارة في الدماغ، مما يقلل أكثر من فرص التنظيم الحراري والتعافي بينما ينحدر الضحية ن حو الموت. يجب نقل الشخص الذي يظهر عليه علامات ضربة الشم س إلى مكان أكثر برودة وتبريده عن طريق إزالة الملابس الزائدة واس تخدام أقمشة مبللة أو حمام بارد، ولكن بسبب ضعف البلع وخطر الا ستنشاق، لا يجب إجباره على شرب السوائل.

يمكن أن ينتج انخفاض حرارة الجسم عن التعرض للطقس البارد أو الغمر في م ياه جليدية. وهو أيضًا ينطوي على حلقات تغذية راجعة إيجابية تهدد الحياة. إذا انخف ضت درجة الحرارة المركزية إلى أقل من 33 درجة مئوية)91 درجة فهرنهايت(، ينخ فض معدل الأيض إلى درجة لا يمكن فيها لإنتاج الحرارة مواكبة فقدانها، وتنخفض در جة الحرارة أكثر. قد تحدث الوفاة بسبب الرجفان القلبي تحت 32 درجة مئوية)90 در جة فهرنهايت(، لكن بعض الأشخاص ينجون بدرجات حرارة جسم منخفضة تصل إلى 29 درجة مئوية)84 درجة فهرنهايت(في حالة توقف مؤقت للحياة. درجة حرارة الج سم التي تقل عن 24 درجة مئوية)75 درجة فهرنهايت(عادة ما تكون قاتلة.

من الخطير إعطاء الكحول لشخص في حالة انخفاض حرارة الجسم؛ فالاحتراق الكيميائي يُنتج وهمًا بالدفء، لكن الكحول في الواقع يسرع فقدان الحرارة عن طريق توسيع الأوعية الدموية الجلدية.

قبل المتابعة

أجب أو أكمل ما يلي لاختبار فهمك للقسم السابق:

19. ما هو المصدر الأساسي لحرارة الجسم؟ وما هي بعض المصادر الأ قل؟
20. ما هي آليات فقدان الحرارة التي تساعدها الحمل؟
21. صف الآليات الرئيسية التي تعزز الحرارة وتفقدها في الجسم.
22. صف حلقات التغذية الراجعة الإيجابية التي يمكن أن تسبب الوفاة بسبب فرط الحرارة أو انخفاضها.

بالإضافة إلى هذه الآليات الفسيولوجية، والأهم من ذلك، يمارس البشر والحيوانات الأخرى التنظيم السلوكي للحرارة— سلوكيات تزيد أ و تقلل من مكاسب وخسائر حرارة الجسم. على سبيل المثال، مجرد ا لابتعاد عن الشمس يقلل بشكل كبير من اكتساب الحرارة عن طريق ا لإشعاع؛ وخلع الملابس الثقيلة أو رمي البطانية أثناء الليل يساعد على تبريد الجسم؛ وارتداء ملابس أكثر دفئًا يحافظ على درجة حرارة الجسم في البيئات الباردة.

باختصار، يمكنك أن ترى أن التنظيم الحراري هو وظيفة لعدة أع ضاء: الدماغ، الأعصاب اللاإرادية، الغدة الدرقية، الجلد، الأوعية الدمو ية، والعضلات الهيكلية.

26.5 د اضطرابات تنظيم الحرارة

الحمى هي آلية وقائية طبيعية ضد العدوى)انظر القسم 21.2e(؛ يج ب السماح لها بأن تستمر إذا لم تكن مرتفعة جدًا.

ومع ذلك، فإن درجة حرارة الجسم التي تتجاوز 42 إلى 43 درجة مئوية)1 08 إلى 110 درجة فهرنهايت(تعتبر خطيرة. إذ ترفع الحرارة المرتفعة مع دل الأيض ويولد الجسم الحرارة أسرع مما يمكنه فقدانها. لذلك، يؤدي ار تفاع معدل الأيض إلى زيادة الحمى، وتزيد الحمى بدورها من معدل الأي ض في حلقة تغذية راجعة إيجابية تهدد الحياة. يمكن أن تؤدي درجة حرا رة مركزية تتراوح بين 44 إلى 45 درجة مئوية)111 إلى 113 درجة فهرنه ايت(إلى خلل أيضي قاتل وتلف عصبي.

التعرض للحرارة المفرطة يسبب تقلصات حرارية، وإرهاق حراري ، وضربة شمس. التقلصات الحرارية هي تشنجات عضلية مؤلمة تن تج عن فقدان الإلكتروليتات في العرق. تحدث خاصة عندما يبدأ الشخ ص في الاسترخاء بعد جهد بدني شاق وتعرق شديد.

الإرهاق الحراري هو حالة غالبًا ما تسببها مزيج من النشاط البدني الشاق والطقس الحار، مما يخلق حالة لا يستطيع فيها الجسم التخل ص من الحرارة بالسرعة التي يكتسبها أو ينتجها.

يمكن أن ترتفع درجة الحرارة المركزية من 37 درجة مئوية)98–99 درجة فهرنهايت(إلى 39 درجة مئوية)102 درجة فهرنهايت(. يؤدي التعرق الغ زير إلى الجفاف، ونقص حجم الدم، وانخفاض النتاج القلبي. يتسارع القل ب)تسرع القلب(في محاولة للتعويض، لكن تدفق الدم يقل ولا يمكنه نقل حرارة المركز إلى سطح الجسم بشكل كافٍ لتبديدها.

الضعف، والدوار، والغثيان هي أعراض شائعة للإرهاق الحراري. يمكن تحقيق التعافي عن طريق التوقف عن العمل حتى تولد العضلات حرار ة أقل، والابتعاد عن الشمس، وشرب السوائل لاستعادة حجم الدم. يم كن أن يتطور الإرهاق الحراري غير المعالج إلى ضربة شمس.

ضربة الشمس)ضربة الشمسية(هي حالة أكثر خطورة، بل تهدد ا لحياة، وغالبًا ما تشمل نخر الأعضاء. تجلب موجات الحر الطويلة العد يد من الوفيات بسبب ضربة الشمس، خاصة إذا



نظرة أعمق 26.4

التطبيق السريري

الكحول والإدمان على الكحول

لا يُعتبر الكحول مجرد مخدر شائع يغير الحالة الذهنية فحسب، بل يُعتبر في العديد من ا لثقافات أيضًا من المواد الغذائية الأساسية. وبصفته مصدرًا للسعرات الحرارية الفارغة، ومخدرًا مسببًا للإدمان، وسمًا، يمكن أن يكون له طيف واسع من التأثيرات الضارة على ا لجسم عند إساءة استخدامه.

الامتصاص والتمثيل الغذائي

يُمتص الكحول بسرعة من الجهاز الهضمي—حوالي 10% منه من المعدة و90% م ن الأمعاء الدقيقة القريبة. تزيد الكربنة، كما في البيرة والنبيذ الفوار، من معدل ام تصاصه عن طريق نقله بسرعة أكبر إلى الأمعاء الدقيقة، في حين يقلل الطعام من امتصاصه عن طريق تأخير إفراغ المعدة. الكحول قابل للذوبان في كل من الماء وا لدهون، لذا

يتم توزيعه بسرعة إلى جميع أنسجة الجسم ويعبر بسهولة الحاجز الدموي الدماغي ليُحدث تأثيراته المسكرة على الدماغ.

يتم إزالة سمية الكحول بواسطة إنزيم الكبد كحول ديهيدروجيناز، الذي يؤكسده إلى الأسيتالدهيد. يدخل هذا في دورة حمض الستريك ويُؤكسد إلى CO_2 و H_2O.

يمكن للرجل البالغ المتوسط أن يزيل من الدم حوالي 10 مل من كحول 100%)200 برهان(في الساعة—وهي كمية تعادل حوالي 30 مل)1 أونصة(من الويسكي أو 355 مل)12 أونصة(من البيرة. النساء لديهن كمية أقل من كحول ديهيدروجيناز ويزلن الكحول من مجرى الدم بشكل أبطأ. كما أنهن أكثر عرضة للأمراض المرتبطة بالكحول مثل تليف الكبد.

التحمل للكحول، أي القدرة على "تحمل الكحول"، ينتج عن عاملين: تعديل السلوك، مثل مقاومة ا لانخفاض في المثبطات، وارتفاع مستويات كحول ديهيدروجيناز استجابة للاستهلاك الروتيني للكحول.

الإدمان

الكحول هو أكثر المخدرات الإدمانية توفرًا فى أمريكا. من نواحٍ عديدة، يشبه الباربى تورات فى تأثيراته السامة، وإمكانية التحمل والاعتماد، وخطر الجرعة الزائدة. الفرق هو أن الحصول على الباربيتورات عادة ما يتطلب وصفة طبية، بينما الحصول عل ى الكحول يتطلب، فى الغالب، إثبات السن فقط.

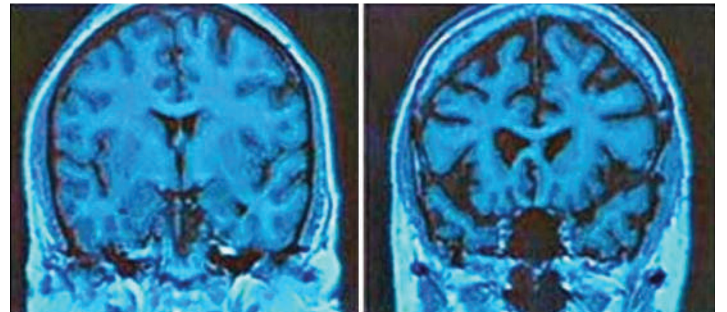
الإدمان على الكحول يُعرف بمجموعة من المعايير، بما فى ذلك التغيرات المر ضية التى تم وصفها؛ التحمل الفسيولوجى لتركيزات عالية؛ ضعف الوظائف الف سيولوجية والنفسية والاجتماعية؛ وأعراض الانسحاب التى تحدث عند تقليل أو إي قاف التعاطى.

يسبب الشرب الثقيل طويل الأمد ضررًا هيكليًا خطيرًا ودائمًا فى الدماغ، مع انكما ش خاص فى الفصوص الأمامية، والحصين، والمخيخ)الشكل 26.16(. يرتبط ال ضرر الهيكلى فى هذه المناطق الثلاث على التوالى بفقدان القدرة على التفكير والح كم، والذاكرة، والتحكم الحركى. قد يؤدى الشرب الثقيل يليه فترة من الامتناع—عل ى سبيل المثال، عندما يُقبل المريض فى المستشفى ولا يستطيع الوصول إلى ال كحول—إلى حدوث الهذيان الارتعاشى)DT(، الذى يتميز بالقلق، والأرق، والارتباك ، والتهيج، والرعشات، والكلام غير المنسق، والهلوسة، والتشنجات، والغيبوبة. مع دل الوفيات فى حالة الهذيان الارتعاشى يتراوح بين 5% و15%.

يبدأ معظم إدمان الكحول)النوع الأول(بعد سن 25 ويرتبط بالتوتر أو ضغط الأ قران. تؤدى هذه التأثيرات إلى زيادة الشرب، مما قد يبدأ دورة مفرغة من المرض، وانخفاض الأداء الوظيفى، ومشاكل عائلية واجتماعية، والاعتقال، وضغوط أخرى تؤدى إلى المزيد من الشرب.يُصاب عدد أقل من الناس بالنوع الثانى، الذى هو ورا ثى جزئيًا على الأقل.

معظم الأشخاص الذين يعانون من إدمان الكحول من النوع الثانى هم رجال يصبح ون مدمنين قبل سن 25، وخاصة أبناء الآخرين الذين يعانون من النوع الثانى. يُظه ر الأشخاص المصابون بهذا الاضطراب زيادة سريعة غير طبيعية فى مستويات الأ سيتالديهيد فى الدم عند شربهم، ولديهم موجات دماغية غير عادية)تخطيط الدما غ الكهربائى(حتى عندما لا يشربون. الأطفال البيولوجيون للآباء الذين يعانون من إد مان الكحول لديهم معدل أعلى من المتوسط للإصابة بالإدمان بأنفسهم، حتى عند ما يتم تربيتهم على يد آباء بالتبنى غير مدمنين على الكحول. الإدمان ليس حتمياً بالنسبة لهم، لكن التوتر أو ضغط الأقران يمكن أن يحفز الإدمان على الكحول بسهو لة أكبر لدى أولئك الذين لديهم استعداد وراثى له.

يُعالج إدمان الكحول بشكل أساسى من خلال تعديل السلوك—الامتناع، دعم ا لأقران، تجنب أو تصحيح الضغوط التى تشجع على الشرب، وأحيانًا العلاج النفسى . تم استخدام أدوية مثل ديسلفيرام)أنتابوز(لدعم برامج تعديل السلوك من خلال ا لتسبب فى آثار غير مرغوبة عند استهلاك الكحول، لكن العلاج الدوائى كان مصحو بًا بآثار جانبية قد تكون خطيرة وقليل من الأدلة على فعاليته.



الشكل 26.16 تأثير الإدمان على الكحول. صور الرنين المغناطيسى)فى الم قطع الأمامى(لمخ شخص طبيعى على اليسار وشخص يعانى من إدمان مزم ن على الكحول على اليمين. كلا الشخصين كان عمرهما 43 عامًا. يسبب ا لإدمان على الكحول ضمورًا واضحًا فى المخيخ)غير موضح(والفصوص الج بهية للمخ.

صور تاريخ العلوم / ألامى ستوك فوتو

يقوم كحول ديهيدروجيناز أيضًا بتعطيل أدوية أخرى، لذا يجب تعديل جرعات الأدو ية للأمراض المصاحبة)الأمراض المشتركة(عند علاج الإدمان على الكحول لتعوى ض ذلك.

التأثيرات الفسيولوجية

الجهاز العصبى الكحول هو مثبط يعيق إفراز النورابينفرين ويعطل وظيفة مستقبلا ت GABA. بجرعات منخفضة، يثبط المشابك المثبطة ويخلق إحساسًا بالثقة والن شوة والدوار. ومع زيادة الجرعة، تعزز نواتج تحلل الإيثانول انتشار K^+خارج الخلايا ا لعصبية، مما يؤدى إلى فرط استقطابها ويجعلها أقل استجابة للناقلات العصبية.

وبالتالى، تتأثر توقيت وتنسيق التواصل بين الخلايا العصبية، مما يؤدى إلى أعرا ض التسمم مثل الكلام المتلعثم، ضعف التنسيق، وبطء رد الفعل. تبدأ هذه الأعرا ض فى الظهور بشكل ملحوظ عند مستوى كحول فى الدم يتراوح بين 80 إلى 100 ملغ/ديسيلتر — وهو المعيار القانونى للتسمم فى العديد من الولايات. وعند تجاو ز 400 ملغ/ديسيلتر، يمكن للكحول أن يعطل الفسيولوجيا الكهربائية للخلايا العص بية إلى درجة التسبب فى غيبوبة وموت.

الكبد يلعب الكبد دورًا رئيسيًا فى أيض الكحول، مما يجعله عرضة بشكل خاص ل لتأثيرات السامة طويلة الأمد. يجهد الشرب الثقيل الكبد بحمولة عالية من الأسى تالديهيد والأسيتات؛ مما يستنزف عوامل الأكسدة ويقلل من قدرته على تحلل هذ ه الوسطاء وكذلك الأحماض الدهنية. غالبًا ما يؤدى الإدمان على الكحول إلى تضخ م الكبد ودهون الكبد لأسباب متعددة: السعرات الحرارية التى يوفرها الكحول تجع ل من غير الضرورى حرق الدهون كوقود، الأحماض الدهنية تُؤكسد بشكل ضعيف ، والأسيتالديهيد يتحول إلى أحماض دهنية جديدة. كما يسبب الأسيتالديهيد التها ب الكبد والبنكرياس)التهاب الكبد والتهاب البنكرياس(، مما يؤدى إلى اضطراب فى وظيفة الجهاز الهضمى. يدمر الأسيتالديهيد والوسطاء السامون الآخرون خلايا ا لكبد أسرع مما يمكن تجديدها، مما يؤدى إلى تليف الكبد)انظر التعمق 26.3(. تن جم العديد من أعراض الإدمان على الكحول عن تدهور وظائف الكبد. قد تحدث غ يبوبة كبدية عندما يصبح الكبد غير قادر على إنتاج اليوريا، مما يسمح بتراكم الأمون يا فى الدم. اليرقان هو علامة على عدم قدرة الكبد على إفراز البيليروبين.

الجهاز الدورى تؤثر تدهورات وظائف الكبد على الدم والجهاز القلبى الوعائى بعدة طرق. يتأثر تخثر الدم لأن الكبد لا يستطيع تصنيع عوامل التخثر بشكل كافٍ. ينتج ا لوذمة عن نقص تصنيع الألبومين فى الدم. يعيق تليف الكبد الدورة الدموية البابية الكبدية. ينتج عن ذلك ارتفاع ضغط البوابة، وبالاقتران مع نقص البروتين فى الدم، يتسبب ذلك فى تسرب الكبد وأعضاء أخرى لسائل مصلى إلى تجويف البطن. يؤ دى هذا إلى الاستسقاء — تورم البطن بسوائل مصلية قد تصل إلى عدة لترات)ان ظر الشكل 20.38(. غالبًا ما يؤدى الجمع بين ارتفاع ضغط الدم واضطراب التخثر إ لى حدوث نزيف.

القيء الدموى[12] قد يحدث نتيجة نزيف الأوردة المتوسعة فى المرىء. كما يدمر تعا طى الكحول نسيج عضلة القلب، ويقلل من انقباض القلب، ويسبب اضطراب نظ م القلب.

الجهاز الهضمى والتغذية يكسر الكحول الحاجز المخاطى الواقى للمعدة والروابط ا لضيقة بين خلاياها الطلائية. لذلك، قد يسبب التهاب المعدة ونزيفها. يزيد الشرب الثقيل، خاصةً مع التدخين، من حدوث سرطان المرىء. سوء التغذية هو مضاعفة شائعة للإدمان على الكحول، جزئيًا لأن السعرات الحرارية الفارغة للكحول تقلل ال شهية للأطعمة الأكثر تغذية. يحصل الأمريكيون فى المتوسط على حوالى 4.5% م ن سعراتهم الحرارية من الكحول)أكثر عند استبعاد غير الشاربين(، لكن الشاربين بكثرة قد يحصلون على نصف أو أكثر من سعراتهم الحرارية من الكحول ويقل لديه م الشهية للأطعمة التى تلبى متطلباتهم الغذائية الأخرى. بالإضافة إلى ذلك، يتداخ ل الأسيتالديهيد مع امتصاص الفيتامينات واستخدامها. نقص الثيامين شائع فى الإدمان على الكحول، ويُعطى الثيامين بشكل روتينى للأشخاص فى علاج الإدمان على الكحول.

[12] hemat = الدم؛ emesis = التقيؤ

دليل الدراسة

قيّم نتائج تعلمك

28. تعريف المعادن الغذائية ومصدرها النهائي؛ وظ ائف المعادن في الجسم؛ أكثر المعادن وفرة في الجسم؛ وبشكل عام، مصادر المعادن الغذائية الجيدة والسيئة
29. التاريخ العام لاستهلاك الإنسان للملح؛ الجرعة اليومية الموصى بها من الصوديوم وبع ض الأسباب التي تجعل معظم الأمريكيين تتجاوز الأنظمة الغذائية هذا بكثير؛ ونتائج تناول الصوديوم المفرط
30. تعريف *الفيتامينات*؛ المصادر الغذائية وغير الغذائية؛ وظائف الفيتامينات في الجسم؛ ال فرق بين الفيتامينات القابلة للذوبان في الماء والفيتامينات القابلة للذوبان في الدهون

26.2 أيض الكربوهيدرات

1. المعادلة الملخصة للأكسدة اللاهوائية الكام لة للجلوكوز
2. وظيفة الإنزيمات المساعدة NAD^+ و FAD في أكسدة الجلوكوز
3. العملية العامة ونتيجة تحلل الجلوكوز، وصافي إ نتاج ATP
4. التخمير اللاهوائي وغرضه الأساسي
5. الموقع الخلوي للتنفس الهوائي، نواتجه النها ئية، ومزاياه
6. دورة حمض الستريك، مكان حدوثها، مصير ذرات الكربون التي نشأت في الجلوكوز، وعا ئد الدورة من ATP وNADH و$FADH_2$
7. تفاعلات غشاء الميتوكوندريا؛ مكان حدوثها في العضية؛ مكونات سلسلة نقل الإلكترونات في الميتوكوندريا؛ كيف تنقل الميتوكوندر يا الإلكترونات من NADH و$FADH_2$ إ لى الأكسجين؛ وكيف تنتج التفاعلات ال ماء الأيضي
8. مضخات البروتون في الميتوكوندريا، الآلية الكيميائية الأسموزية، وإنزيم ATP سينثاز في إنتاج ATP
9. العائد الصافي من ATP في تحلل الجلوكوز والتنفس الهوائي؛ كمية ATP المنتجة في كل خطوة من الجلوكوز إلى H_2O؛ ولماذا ي ختلف العائد قليلاً بين أنواع الخلايا المختلفة
10. كفاءة التنفس الهوائي وكيفية حسابها
11. كيف يتحول الجلوكوز الزائد إلى جليكوجين؛ مخزون الجليكوجين النموذجي في الجسم وأ ماكن تواجد هذه الاحتياطيات؛ وعمليات وأ هداف التكوين الجليكوجيني، تحلل الجلي كوجين، وتكوين الجلوكوز الجديد

16. معنى *الألياف الغذائية*؛ الكمية اليومية المو صى بها من الألياف وكيف يختلف الاستهلاك الفعلي حول العالم؛ أشكال الألياف الغذائية؛ أي الأشكال تُصنف كألياف قابلة للذوبان وغير قابلة للذوبان، والفروق في الفوائد الصح ة لهذين النوعين؛ الآثار الضارة للاستهلاك ا لمفرط للألياف الغذائية
17. سببان لتخزين الجسم المزيد من الطاقة على شكل دهون بدلاً من الكربوهيدرات؛ العائد الحرا رى من الدهون مقارنة بالكربوهيدرات؛ النسب ا لنموذجية للدهون في الجسم لدى الذكور والإ ناث الطبيعيين
18. لماذا يُقال إن الدهون لها تأثيرات موفرة للجلو كوز وموفرة للبروتين
19. الدهون المهمة أيضياً بخلاف الدهون، واستخدا ماتها في الجسم
20. الكمية اليومية الموصى بها من الدهون، وكيف يقارن النظا م الغذائي النموذجي في الولايات المتحدة مع هذه الكمية
21. لماذا يُطلق على حمض اللينوليك اسم حمض دهني أساسي؛ حمضان دهنيان آخران قد يكونان أ ساسيين
22. المصادر الغذائية للدهون المشبعة وغير المشبع ة، الأحماض الدهنية الأساسية، والكوليسترو ل؛ المخاطر الصحية للدهون المشبعة وغير ا لمشبعة الزائدة
23. أنواع البروتينات الدهنية الموجودة في مجرى الدم—الكيلوميكرونات، البروتينات الدهنية منخفضة الكثافة جداً)VLDLs(، البروتينات الدهنية م نخفضة الكثافة)LDLs(، والبروتينات الدهنية عالية الكثافة)HDLs(—وا لاختلافات في مصدرها وتركيبها ووظائفها؛ وأهمية البروتينات الدهنية منخ فضة الكثافة)LDLs(وعالية الكثافة)HDLs(لصحة القلب والأوعية الدموية وكيف ترتبط هذه بالمصطلحات الشائعة "الكوليسترول الجيد" و"الكوليسترو ل السيئ"
24. وظائف البروتينات في الجسم، والنسبة النموذ جية من كتلة الجسم المكونة من البروتين
25. الكمية اليومية الموصى بها من البروتين؛ كيفية تقديرها من وزن الجسم؛ مصادر غذائية جيدة للبروتين؛ الحالات التي تتطلب تناول بروتين أكبر من الطبيعي؛ والمخاطر الناتجة عن تناو ل كميات زائدة من البروتين
26. لماذا تعتمد القيمة الغذائية للبروتين على تر كيب الأحماض الأمينية؛ الأحماض الأمين ية الثمانية الأساسية؛ الفرق بين البروتينا ت الكاملة وغير الكاملة؛ معنى صافي استخدام البروتين ولماذا يختلف للبروتينات الغذائية ذا ت الأصل النباتي والحيواني؛ وبعض المزايا ا لغذائية والبيئية للبروتين النباتي
27. معاني التوازن الإيجابي والسلبي للنيتروجين وا لحالات التي يحدث فيها كل منهما

لاختبار معرفتك، ناقش المواضيع التالية مع شر يك دراسة أو كتابةً، ويفضل أن يكون ذلك من الذا كرة.

26.1 التغذية

1. دليل على وجود نقطة ضبط ذاتي)توازن(لوزن الجسم؛ المساهمات النسبية للوراثة والس لوك في اختلافات وزن الجسم
2. معنى *الببتيدات المعوية-الدماغية*
3. مصادر وأفعال الغريلين، ببتيد YY، الكوليس ستوكينين، والأميلين كمنظمات قصيرة الأم د للشهية
4. مصادر وأفعال اللبتين والإنسولين كإشارات للسمنة ومنظمات طويلة الأمد للشهية
5. أدوار النواة القوسية، ببتيد YY العصبي، والم يلانوكورتين في تنظيم الشهية
6. دور تقلصات الجوع في بدء التغذية؛ العوامل ا لتي تشبع الجوع على المدى القصير والطوي ل، وكيف تشبه هذه الشبع العطش
7. الهرمونات التي تحفز الشهية لفئات محد دة من المغذيات مثل الكربوهيدرات، الدهون، والبروتينات
8. تعريف *السعرات الحرارية* وكيف يرتبط ذلك بالسعرات الحرارية الغذائية)كيلوكالوري(
9. المصادر الغذائية الرئيسية للسعرات الحرار ية؛ العائد النسبي من الدهون مقارنة بالكربوه يدرات والبروتينات؛ ومعنى *السعرات الحرارية الفارغة*
10. تعريف *المغذيات*؛ لماذا بعض المغذيات لا تُه ضم ولا تُنتج سعرات حرارية؛ ولماذا بعض ا لأشياء لا تُعتبر مغذيات رغم كونها مكونات م همة لنظام غذائي صحي
11. الفرق بين المغذيات الكبيرة)الماكرونيوترينتس(والمغذ يات الدقيقة)الميكرونيوترينتس(؛ والمغذيات في كل فئة
12. لماذا تُعتبر بعض المواد مغذيات أساسية
13. أشكال وكميات الكربوهيدرات المخزنة والم تنقلة في الجسم؛ كيف يستخدم الجسم ال كربوهيدرات؛ كيف تؤثر الكربوهيدرات الغذا ئية على أيض الدهون
14. الهرمونات التي تنظم التوازن بين جلوكوز الدم والجليكوجين المخزن؛ النطاق الطبيعي لتركيز جلوكوز الدم
15. الكمية اليومية الموصى بها من الكربوهيدرات؛ ن سبة السعرات الحرارية التي تأتي من الكربوهيدرا ت في النظام الغذائي النموذجي في الولايات ا لمتحدة؛ الأشكال التي توجد بها الكربوهيدرات في النظام الغذائي وكمياتها النسبية؛ المصادر الغ ذائية للكربوهيدرات

دليل الدراسة

2. درجات حرارة الجسم الأساسية والسطحية ال نموذجية وكيفية قياس كل منهما
3. كيف يتم إنتاج معظم حرارة الجسم، وما هى الأعضاء الأكثر أهمية كمصادر لحرارة الجسم أثناء الراحة وأثناء التمرين
4. أربع آليات يفقد الجسم من خلالها الحرارة، ونسب مئوية لفقدان الحرارة الكلى المنسوبة لكل منها أثناء الراحة وعند درجة حرارة محيطة مريحة (21 درجة مئوية)
5. كيف يراقب منظم الحرارة فى الوطاء درجة حرارة الجسم الأساسية والسطحية
6. آليتان لخفض درجة حرارة الجسم وآليتان لرفعها؛ المناطق فى الوطاء المشاركة فى كل منهما
7. معانى *التوليد الحرارى غير الارتجافى* و*التنظيم الحرارى السلوكى*، وأمثلة على الأخير
8. الاختلافات بين تقلصات الحرارة، والإرهاق الحرارى، وضربة الشمس؛ دور حلقات التغذية الإيجابية فى فرط الحرارة؛ وكيف وفى أى نطاق درجة حرارة يمكن أن تؤدى ضربة الشمس إلى الوفاة
9. دور حلقات التغذية الإيجابية فى انخفاض حرارة الجسم؛ وكيف وفى أى نطاق درجة حرارة يمكن أن يؤدى انخفاض حرارة الجسم إلى الوفاة

26.4 الحالات الأيضية ومعدل الأيض

1. عندما يكون الجسم فى حالة الامتصاص؛ ما هى الأمور التى تحدث فى هذه الحالة بالنسبة لأيض الكربوهيدرات والدهون والبروتين
2. الهرمون الرئيسى الذى ينظم حالة الامتصاص؛ وتأثيراته الأيضية الأساسية فى هذه الحالة؛ وأى مضاد ينظم تأثيراته
3. عندما يكون الجسم فى حالة ما بعد الامتصاص؛ ما هى الأمور التى تحدث فى هذه الحالة بالنسبة لأيض الكربوهيدرات والدهون وأحيانًا البروتين
4. الهرمونات التى تنظم حالة ما بعد الامتصاص، وتأثيراتها، ودور الجهاز العصبى الودى فى تنظيمها
5. معنى *معدل الأيض*؛ كيف يتم قياسه وبأى وحدات قياس يُعبر عنه؛ وما العوامل التى تسبب تباينه؛ وكيف يختلف معدل الأيض القاعدى (BMR) عن معدل الأيض الكلى (TMR)
6. القيم النموذجية لمعدل الأيض القاعدى ومعدل الأيض الكلى تحت ظروف مختلفة من الجهد البدنى

26.5 حرارة الجسم وتنظيم الحرارة

1. معنى *تنظيم الحرارة*؛ المصطلحات الخاصة بدرجات حرارة الجسم المنخفضة والمرتفعة بشكل غير طبيعى؛ وأسباب كون هاتين الحالتين قد تكونان مميتتين

26.3 الأيض الدهنى والبروتينى

1. ما هى الخلايا المسؤولة بشكل أساسى عن تخزين وإطلاق ثلاثى الجليسريدات؛ جوهر التكوين الدهنى والتحلل الدهنى الذى تقوم به هذه الخلايا وغيرها
2. عملية التحلل الدهنى بما فى ذلك تحلل ثلاثى الجليسريدات وأكسدة بيتا للأحماض الدهنية؛ كمية ATP الناتجة من الأكسدة الكاملة لحمض دهنى نموذجى
3. معنى التكوين الكيتونى؛ الاستخدام الأيضى لأجسام الكيتون والتأثيرات المرضية لمستويات الكيتون الزائدة؛ الظروف الشائعة التى يحدث فيها تكوين كيتونى مفرط
4. معدل دوران البروتين اليومى النموذجى فى الجسم؛ أين ولماذا يحدث أسرع معدل دوران للبروتين؛ والمصادر الغذائية وغير الغذائية للأحماض الأمينية التى يمتصها الأمعاء الدقيقة
5. استخدامات الأحماض الأمينية الحرة فى مخزون الأحماض الأمينية
6. ما يحدث فى عمليات إزالة الأمين، والإضافة الأمينية، والنقل الأمينى فى أيض الأحماض الأمينية؛ استخدامات الجسم للأحماض الأمينية بعد إزالة الأمين
7. كيف تُنقل الأحماض الأمينية إلى دورة حمض الستريك للأكسدة كوقود
8. كيف ينتج الكبد اليوريا
9. وظائف أخرى غير هضمية للكبد

اختبار استذكارك

الإجابات فى الملحق أ

7. يتم اختزال FAD إلى $FADH_2$ فى
   أ. التحلل السكرى.
   ب. التخمر اللاهوائى.
   ج. دورة حمض الستريك.
   د. سلسلة نقل الإلكترون.
   هـ. أكسدة بيتا للدهون.
8. الفائدة الأساسية والمباشرة للتخمر اللاهوائى هى
   أ. تجديد NAD^+.
   ب. إنتاج $FADH_2$
   ج. إنتاج اللاكتات.
   د. التخلص من البيروفات.
   هـ. إنتاج المزيد من ATP مقارنة بما ينتجه التحلل السكرى.
9. أى من هذه العمليات تحدث فى مصفوفة الميتوكوندريا؟
   أ. التحلل السكرى
   ب. التمثيل الكيميائى الضوئى (الكيميوموسيس)
   ج. تفاعلات السيتوكروم
   د. دورة حمض الستريك
   هـ. التخمر اللاهوائى

4. البروتينات الدهنية التى تزيل الكوليسترول من الأنسجة هى
   أ. الكيلوميكرونات.
   ب. ليبوبروتين ليباز.
   ج. جزيئات البروتين الدهنى منخفض الكثافة جداً (VLDLs).
   د. جزيئات البروتين الدهنى منخفض الكثافة (LDLs).
   هـ. جزيئات البروتين الدهنى عالى الكثافة (HDLs).
5. أى مما يلى من المرجح أن يجعلك تشعر بالجوع؟
   أ. اللبتين
   ب. الغريلين
   ج. كوليسيستوكينين
   د. الببتيد YY
   هـ. الميلانوكورتين
6. الوظيفة الأساسية لفيتامينات مجموعة ب هى العمل كـ
   أ. المكونات الهيكلية للخلايا.
   ب. مصادر الطاقة.
   ج. مكونات الأصباغ.
   د. مضادات الأكسدة.
   هـ. الإنزيمات المساعدة.

1. لا تُستخدم كوقود وتُطلب بكميات صغيرة نسبيًا. ______
   أ. المغذيات الدقيقة
   ب. المغذيات الكبرى
   ج. المغذيات الأساسية
   د. البروتينات
   هـ. الدهون
2. البوليسكاريد القابل للهضم الوحيد المهم فى النظام الغذائى هو
   أ. الجليكوجين.
   ب. السليلوز.
   ج. النشا.
   د. المالتوز.
   هـ. الألياف.
3. أى مما يلى يخزن أكبر كمية من الطاقة فى الجسم؟
   أ. الجلوكوز
   ب. الدهون الثلاثية
   ج. الجليكوجين
   د. البروتينات
   هـ. الفيتامينات

دليل الدراسة

18. هرمونات الشهية مثل الجريلين، اللبتين، CCK، وغيرها تؤثر على جزء من الوطاء يسمى ______ النواة.

19. الجزيئات الملونة الزاهية التى تحتوى على الحديد والمسؤولة عن نقل الإلكترونات فى الغشاء الداخلى للميتوكندريا تُسمى ______ .

20. تدفق H^+ من الفراغ بين الغشائين إلى م صفوفة الميتوكندريا يخلق تيارًا كهربائيًا ى ستخدمه الإنزيم لصنع ______ ______ .

13. تخليق الجلوكوز من الأحماض الأمينية أو الدهون الثلاثية يُسمى ______ .

14. النفايات النيتروجينية الرئيسية الناتجة عن تحلل البروتين هى ______ .

15. العضو الذى يصنع النفايات النيتروجينية فى ا لسؤال 14 هو ______ .

16. الحالة الامتصاصية يتم تنظيمها بشكل رئيسى بواسطة الهرمون ______ .

17. درجة حرارة الأعضاء فى تجاويف الجسم تسم ى ______ .

10. عندما يصدر الجسم طاقة تحت الحمراء أكثر مم ا يمتص، فإنه يفقد الحرارة عن طريق
- أ. الحمل.
- ب. الحمل القسرى.
- ج. التوصيل.
- د. الإشعاع.
- هـ. التبخر.

11. البروتين يفتقر إلى واحد أو أكثر ______ أ/أن الأحماض الأمينية الأساسية.

12. فى الحالة بعد الامتصاص، يتم تحلل الجل ليكوجين لتحرير الجلوكوز. تُسمى هذه العملية ______ .

بناء مفرداتك الطبية

الإجابات فى الملحق أ

اذكر معنى كل عنصر من عناصر الكلمة، وقدم مصط لحًا طبيًا من هذا الفصل يستخدمه أو يستخدم نسخة قليلة التغيير منه.

1. asco-
2. cac-
3. chromo-
4. -genesis
5. glyco-
6. -ites
7. lepto-
8. -lysis
9. neo-
10. osmo-

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

الإجابات فى الملحق أ

اشرح بإيجاز لماذا كل من العبارات التالية خاطئة، أ و أعد صياغتها لتصبح صحيحة.

1. هرمون الغريلين واللبتين هما هرمونان يؤثران على الشهية، لكن الغريلي ن يحفز الشهية بينما اللبتين يثبطها.
2. لا يُعتبر الماء من المغذيات لأنه لا يُهضم ولا يحتوى على سعرات حرارية.
3. يحتوى جرام واحد من الكربوهيدرات على نصف كمية الطا قة الموجودة فى جرام واحد من الدهون.
4. معظم الكوليسترول فى الجسم يأتى من النظام الغذائى.
5. لا ضرر فى زيادة تناول البروتين اليومى إلى الح د الأقصى.
6. الأنظمة الغذائية منخفضة الدهون للغاية تميل إلى إن تاج مستويات عالية من الكيتونات فى الدم قد تكو ن خطيرة.
7. التفاعلات التى تحدث فى مصفوفة الميتو كوندريا تنتج المزيد من ATP مقارنة بتحلل ا لجلوكوز والتفاعلات فى غشاء الميتوكوندريا م جتمعة.
8. تحدث عملية تكوين الجلوكوز بشكل خاص فى حالة الامتصاص أثناء وبعد الوجبة مباشر ة.
9. الدهون البنية تولد المزيد من ATP مقارنة بالده ون البيضاء، ولذلك فهى مهمة بشكل خاص لتنظ يم حرارة الجسم.
10. عند درجة حرارة الهواء 21 درجة مئوية)70 درجة فهر نهايـت(، يفقد الجسم المزيد من الحرارة عن طريق ال توصيل إلى الهواء المحيط أكثر من أى وسيلة أخرى.

اختبار فهمك

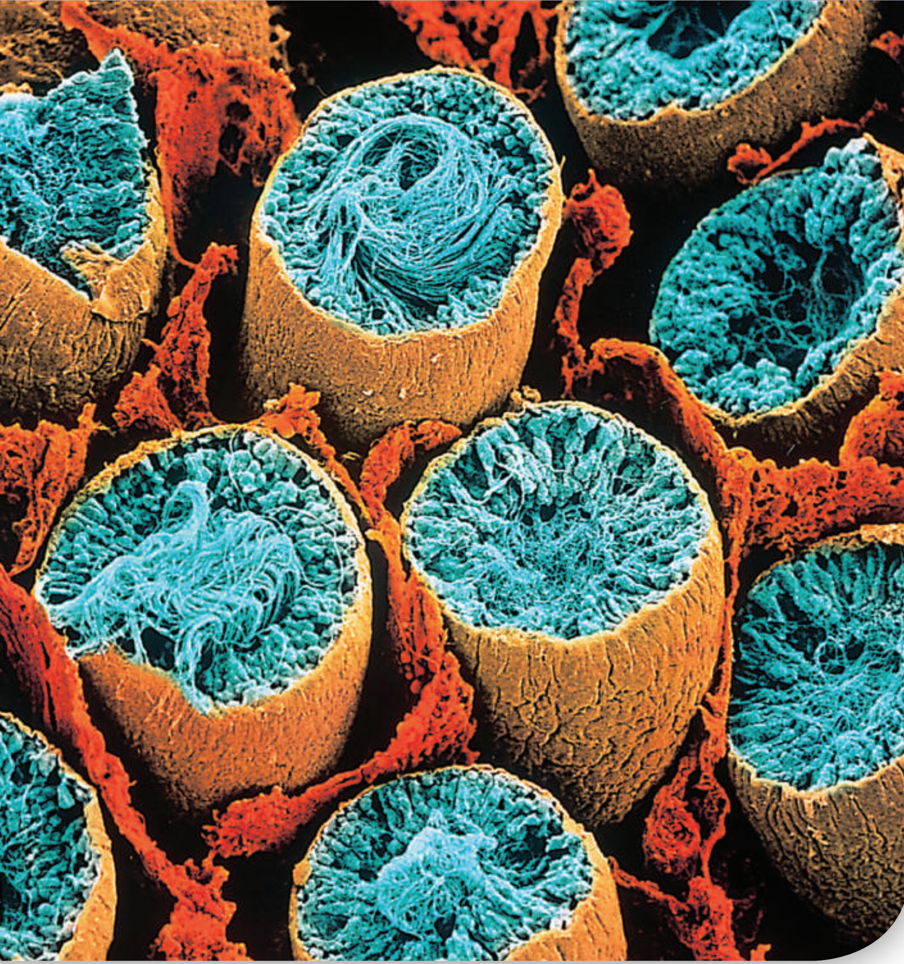
1. السيانيد يعيق نقل الإلكترونات من السى توكروم a_3 إلى الأكسجين. فى ضوء ذلك، ا شرح لماذا هو قاتل للغاية. كما اشرح ما إذا كان يمكن علاج تسمم السيانيد بإعطاء المريض أ كسجينًا إضافيًا، وقدم مبررًا لإجابتك.

2. الفصل 17 يحدد ويصف بعض تأثيرات ا لهرمونات التى تكون تآزرية ومضادة. حدد بعض التفاعلات التآزرية و التفاعلات الهرمونية المضادة فى حالة ما بعد الامتصاص فى الأيض.

3. السيدة جونز، امرأة تبلغ من العمر ٢٤ عامًا، تـ شتكى، "كل ما آكله يتحول إلى دهون. لكن ز وجى وابنى يأكلان ضعف ما آكله، وهما نحيفا ن جدًا." كيف تشرحين لها هذا؟

4. إعلان تلفزيونى يعلن، "هل تشعر بالتعـ ب؟ هل تحتاج إلى المزيد من الطاقة؟ اطلـ ب إمدادك من فيتامينات زيبى ميغافيتامينز واش عر بتحسن سريع!" صديقتك كاثى على وش ك إرسال طلبها، وتحاول إقناعها بعدم إهدار أم والها. لخّص الحجة التى ستستخدمها.

5. اشرح لماذا قد يظهر لدى مريض تعرض كبدُه لأضرار واسعة بسبب التهاب الكبد تركيزا ت مرتفعة من هرمون الغدة الدرقية والبيليرو بين فى الدم.



الفصل

27

الجهاز التناسلى الذكرى

الأنابيب المنوية، حيث يتم إنتاج الحيوانات المنوية. تُرى ذيول الحيوانات المنوية ككتل شبيهة بالشعر فى مركز الأنابيب)SEM(.

CNRI/SPL/Science Source

رؤى أعمق

مخطط الفصل



Module 14: Reproductive System

مراجعة

- تدفق الحرارة عبر التدرجات الحرارية مهم في التحكم في درجة حرارة الخصيتين)انظر القسم 1.6e(.
- قد تستفيد من فهمك لتشريح الجهاز التناسلي الذكري إذا قمت بتحديث ذاكرتك حول حزام الحوض)انظر القسم 8.5a(والعضلات الموجودة في قاع الحوض)انظر الشكل 10.21(.
- هيكل الكروموسوم)انظر الشكل 4.5(، والكروموسومات البشرية)انظر الشكل 4.16(، وعملية الانقسام الخيطي)انظر الشكل 4.15(مهمة لفهم إنتاج الحيوانات المنوية.
- يعتمد التطور الجنسي والوظيفة البالغة على الهرمونات المنشطة للجوناد والستيرويدات الجنسية التي تم تقديمها في الأقسام 17.2c و 17.3g. يجب أن تعرف تشريح الغدة النخامية)انظر الشكل 17.4(والآلية الخاصة بالتثبيط عبر التغذية الراجعة السلبية)انظر القسم 17.2e(.

من كل ما تعلمناه عن التعقيد البنيوي والوظيفي لجسم الإنسان، يبدو من العجيب أنه يعمل على الإطلاق! الحقيقة، مع ذلك، هي أنه حتى مع الطب الحديث لا يمكننا إبقاؤه يعمل إلى الأبد. يعاني الجسم من تغييرات تنكسية مختلفة مع تقدمنا في العمر، وفي النهاية يحين وقتنا ويجب أن نقول وداعًا. ومع ذلك، تعيش جيناتنا في حاويات جديدة—أبناؤنا. إنتاج الأبناء هو موضوع هذه الفصول الثلاثة الأخيرة. في هذا الفصل، نفحص بعض الجوانب العامة لبيولوجيا التكاثر البشري ثم نركز على دور الذكر في التكاثر. الفصلان التاليان يتناولان، على التوالي، وظيفة التكاثر الأنثوية والتطور الجنيني للبشر والتغيرات في الطرف الآخر من دورة الحياة—تغيرات الشيخوخة.

27.1 التكاثر الجنسي والتطور

النتائج التعليمية المتوقعة

عندما تكمل هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. تحديد التمييز البيولوجي الأساسي بين الذكر والأنثى؛
ب. تعريف الأعضاء الجنسية الأولية، الأعضاء الجنسية الثانوية، و الخصائص الجنسية الثانوية؛
ج. اشرح دور الكروموسومات الجنسية في تحديد الجنس؛
د. شرح كيف يحدد كروموسوم Y استجابة الغدة التناسلية الجنينية للهرمونات قبل الولادة؛
هـ. تحديد أي من الأعضاء التناسلية الخارجية للذكور والإناث متناظرة مع بعضها البعض؛ و
و. وصف نزول الغدد التناسلية وشرح سبب أهميته.

27.1a الفروق الأساسية بين الجنسين

جوهر التكاثر الجنسي هو أنه ثنائي الوالدين - حيث يرث النسل الجينات من والدين اثنين، لذا فهم ليسوا متطابقين وراثيًا مع أي منهما. لتحقيق ذلك، يجب على الوالدين إنتاج الأمشاج[1])خلايا الجنس(التي تلتقي وتدمج جيناتها في الزيجوت[2])البويضة المخصبة(. هناك أمران ضروريان لنجاح ذلك:)1(حركة الأمشاج حتى تتمكن من تحقيق الاتصال، و)2(وجود كمية كافية من السيتوبلازم لتقسيمها إلى الخلايا الأولى للجنين النامي، مع وجود مغذيات داخل خلوية تدعمه حتى يبدأ في تلقي التغذية الخارجية. لا يمكن لخلية واحدة أن تؤدي كلا الدورين بشكل مثالي، لأن احتواء كمية كبيرة من السيتوبلازم يعني أن تكون كبيرة وثقيلة نسبيًا، وهذا يتعارض مع الحركة.لذلك، يتم توزيع هذه المهام على نوعين من الأمشاج.

الصغير المتحرك - أكثر من كونه DNA مع مروحة بقليل - هو الحيوان المنوي)الحيوان المنوي(، والواحد الكبير المحمّل بالمغذيات هو البويضة)البويضة(.

في أي نوع يتكاثر جنسياً، وبحسب التعريف، فإن الفرد الذي ينتج البيوض هو أنثى والذي ينتج الحيوانات المنوية هو ذكر. هذه المعايير ليست دائماً بهذه البساطة، كما سنرى قريباً.

وراثيًا، يُصنف الأشخاص الذين لديهم كروموسوم جنسي Y على أنهم ذكور، وأولئك الذين يفتقرون إلى كروموسوم Y على أنهم إناث.

في البشر والثدييات الأخرى، يجب أن يمتلك الذكر عضوًا للتزاوج، وهو القضيب، لإدخال الأمشاج الخاصة به في الجهاز التناسلي الأنثوي. ويجب أن تمتلك الأنثى عضوًا للتزاوج، وهو المهبل، لاستقبال الحيوانات المنوية ولاحقًا للولادة. هذه هي الفروق الأكثر وضوحًا بين الجنسين. كما توفر الأنثى مكانًا لاتحاد البويضة والحيوان المنوي؛ وتحضن وتغذي الجنين النامي؛ وتلد؛ وتغذي الصغار.

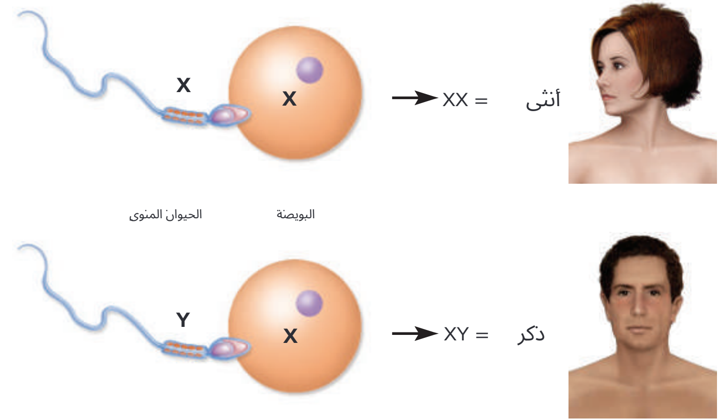
27.1ب نظرة عامة على الجهاز التناسلي

يتكون الجهاز التناسلي من الأعضاء الجنسية الأولية والثانوية. الأعضاء الجنسية الأولية، أو الغدد التناسلية، هي الأعضاء التي تنتج الأمشاج — الخصيتان لدى الذكر والمبايض لدى الأنثى. أما الأعضاء الجنسية الثانوية فهي الأعضاء غير الغدد التناسلية اللازمة للتكاثر. في الذكر، تشكل هذه الأعضاء نظامًا من القنوات والغدد والقضيب، المعني بتخزين الحيوانات المنوية وبقائها وتسليمها.
في الأنثى، تشمل هذه الأعضاء قنوات الرحم والرحم والمهبل، المعنية باتحاد الحيوان المنوي والبويضة وحضانة الجنين.
وفقًا للموقع، تُصنف الأعضاء التناسلية إلى الأعضاء التناسلية الخارجية والداخلية)الجدول 27.1(. تقع الأعضاء التناسلية الخارجية في العجان)انظر الشكل 27.6(. معظمها مرئي خارجيًا، باستثناء الغدد الملحقة تحت الجلد في عجان الأنثى. تقع الأعضاء التناسلية الداخلية بشكل رئيسي في تجويف الحوض، باستثناء الخصيتين الذكريتين وبعض القنوات المرتبطة بهما الموجودة في كيس الصفن.

الصفات الجنسية الثانوية هي الخصائص التي تميز الجنسين بشكل إضافي وتلعب دورًا في جذب الشريك. من نداء الضفدع الذكر إلى ذيل الطاووس، فهي معروفة جيدًا في مملكة الحيوان. عادةً ما تظهر فقط عندما يقترب الحيوان من النضج الجنسي)خلال فترة المراهقة لدى البشر(. في البشر، تكون السمات الجسدية التي تسهم في الجاذبية الجنسية مشروطة ثقافيًا إلى حد يصعب معه تحديد الصفات الجنسية الثانوية الأساسية بيولوجيًا. المقبولة عمومًا في كلا الجنسين هي شعر العانة وتحت الإبط والغدد العطرية المرتبطة بها، ونبرة الصوت. أخرى

---

[1] gam= زواج، اتحاد
[2] zygo= نير، اتحاد
[3] gon = بذرة



الشكل 27.1 تحديد الجنس الكروموسومى. جميع البويضات تحمل
الكروموسوم X. يتم تحديد جنس الطفل بناءً على ما إذا
تم تخصيب البويضة بواسطة حيوان منوى يحمل X أو حيوان منوى يحمل Y.

27.1ح تحديد الجنس الكروموسومى

ما الذى يحدد ما إذا كان الزيجوت سيتطور إلى ذكر أو أنثى؟
يبدأ التمييز مع تركيبة الكروموسومات الجنسية التى يرثها الزيجوت. معظم
خلايانا تحتوى على 23 زوجًا من الكروموسومات: 22 زوجًا من الكروموسو
مات الجسدية وزوج واحد من الكروموسومات الجنسية)انظر الشكل 4.16
(. يمكن أن تكون الكروموسومة الجنسية إما كروموسوم X كبير أو كروموسو
م Y صغير. تحتوى كل بويضة على كروموسوم X، لكن نصف الحيوانات الم
نوية تحمل كروموسوم X والنصف الآخر يحمل كروموسوم Y. إذا تم تخصى
ب البويضة بحيوان منوى يحمل كروموسوم X، ينتج عن ذلك زيجوت XX ا
لذى عادة ما يصبح أنثى. وإذا تم تخصيبها بحيوان منوى يحمل كروموسوم
Y، ينتج عن ذلك زيجوت XY الذى عادة ما يصبح ذكرًا. وبال
تالى، يتم تحديد جنس الطفل عادةً عند الإخصاب، وليس بواسطة البويضة
بل بواسطة الحيوان المنوى الذى يخصبها)الشكل 27.1(.

الجدول 27.1	الأعضاء التناسلية الخارجية والداخلية
الأعضاء التناسلية الداخلية	**الأعضاء التناسلية الخارجية**
ذكر	
الخصيتان)مفردها خصى	القضيب
ة(البربخ)مفرده بربخ(	كيس الصفن
الأسهر)مفرده أسهر	
الحويصلات المنوية	
البروستاتا	
الغدد البصلية الإحليلية	
الأنثى	
المبايض	النتوء العانى
قنوات الرحم	الشفران الكبيران)مفرد، الشفة الكبرى(
الرحم	الشفران الصغيران)مفرد، الشفة الصغرى(
المهبل	البظر
	فتحة المهبل
	البصيلات الدهليزية
	الغدد الدهليزية
	الغدد المجاورة للإحليل

الصفات التى تُعتبر عادةً من خصائص الجنس الثانوية للذكور هى شع
ر الوجه، والشعر الخشن والطاهر نسبيًا على الجذع والأطراف، والبنية ا
لعضلية النسبية. أما فى الإناث، فتشمل توزيع الدهون فى الجسم، و
تضخم الثديين)بغض النظر عن الرضاعة(، وشعر الجسم الأرق والأقل
وضوحًا.



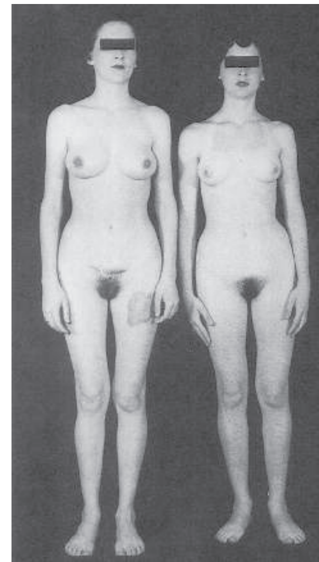
نظرة أعمق 27.1

التطبيق السريرى

متلازمة عدم حساسية الأندروجين

أحيانًا، يطهر طفل كان يُعتقد دائمًا أنه فتاة التغيرات المعتادة للبلوغ باستثناء أنه
لا يحيض. يكشف الفحص الطبى عن وجود خصيتين فى البطن والنمط النووى X
Y للذكر. تنتج الخصيتان مستوى طبيعيًا من التستوستـ
يرون الذكرى، لكن الخلايا المستهدفة تفتقر إلى مستقبلات له، وبالتالى لا يكون لل
تستوستيرون أى تأثير. تُسمى هذه الحالة متلازمة عدم الحساسية للأندروجين)AIS
(أو التأنث الخصوى.

الشكل 27.2 يُطهر شقيقين يحملان كروموسومات XY، لكن تم تأنيثهما بسبـ
ـب متلازمة عدم الحساسية للأندروجين)AIS(. فى مثل هؤلاء الأفراد، تطهر الأعضا
ء التناسلية الخارجية بتشريح أنثوى منذ الولادة، كما لو لم يكن هناك أى هرمون تـ
ستوستيرون. عند البلوغ، تتطور الثديين الأنثويين وخصائص الجنس الثانوية الأخر
ى لأن التستوستيرون لا يستطيع التغلب على تأثير كميات صغيرة من الإستروجي
ن التى تفرزها الخصيتان عادةً. بالرغم من المظاهر الخارجية، لا توجد مبايض أو مه
بل أو رحم. لذلك، يُعتبر هؤلاء الأفراد "ذكورًا" من حيث الجينات والغدد التناسلية،
لكن ليس من حيث الأعضاء التناسلية. إذا لم تُزال الخصيتان البطنيتان، فإن الش
خص المصاب بمتلازمة عدم الحساسية للأندروجين يكون معرضًا لخطر مرتفع للإ
صابة بسرطان الخصية.



الشكل 27.2 متلازمة عدم الحل
ساسية للأندروجين. هذان الشقيقان
هما ذكور كروموسومية)XY(لكن
تم تأنيثهما بسبب عدم الحسا
سية للتستوستيرون.

بأى طريقة تشبه متلازمة عدم
الحساسية للأندروجين مرض ال
سكرى من النوع 2؟

ميهالى بارتالوس، من م. بارتالوس و
تـ. أ. بارامكى

أن ينتقل من كروموسوم Y إلى كروموسوم X أثناء إنتاج الحيوانات الم
نوية)انظر القسم 4.4e(. يمكن للحيوان المنوى الذى يحمل هذا X الم
عدل أن ينقل جين *SRY* "الذكرى" إلى طفل XX. فهل نسمى هذا الط
فل صبياً بكروموسومات أنثوية، أم فتاة بجين تحديد الجنس الذكرى؟
طريقة أخرى لحدوث البين جنسية هى أن يتعرض جنين XX لتأثير أندر
وجينى مرتفع بشكل غير طبيعى قبل الولادة ويولد بأعضاء تناسلية ذ
كورية أو "غامضة")*متلازمة الأدرينو جينيتالية، AGS؛* انظر الشكل 17
.28(. هؤلاء الأفراد — "أنثى" فى الجينات والغدد التناسلية لكن "ذكر"
فى الأعضاء التناسلية — يُخطئ أحياناً فى التعرف عليهم كأولاد عند ا
لولادة ويتم تربيتهم كذلك. مثال ثالث هو متلازمة عدم حساسية الأندر
وجين)AIS( )انظر نظرة أعمق 27.1 والشكل 27.2(. فى هذه الحالة،
يمتلك الفرد كروموسومات XY وخصى ويفرز التستوستيرون، لكنه يط
ور مظهراً أنثوياً بسبب نقص مستقبلات التستوستيرون.

لهذه الأسباب وغيرها، نجد انفصالاً بين الجينات، الغدد التناسلية
، والأعضاء التناسلية فى حوالى 1 من كل 100 شخص. الهوية الجن
سية هى الإحساس النفسى للفرد بالذكورة أو الأنوثة أو هوية جنسية أ
خرى والدور الاجتماعى، وقد تختلف عن الجنس البيولوجى للفرد. باخ
تصار، لا ينتمى البشر إلى فئتين بسيطتين وثنائيتين، ذكر وأنثى، بل
لأسباب بيولوجية متنوعة، يشغلون فسيفساء أو طيفاً جنسياً من الت
شريح، الفسيولوجيا، وعلم النفس الأنثوى إلى الذكورى.

27.1f تطور الأعضاء التناسلية الخارجية

ربما تعتبر الأعضاء التناسلية الخارجية هى السمة الأكثر تحديدًا للذكر أ
و الأنثى، ومع ذلك هناك تشابه أكبر بين الجنسين مما يدركه معظم ا
لناس. فى الجنين، تبدأ الأعضاء التناسلية بالتطور من هياكل متطابقة
فى كل من الذكور والإناث. بحلول الأسبوع السادس، يحتوى الجنين ع
لى ما يلى)الشكل 27.4(:

- النتوء التناسلى، وهو نتوء وسطى أمامى؛
- الثنيات البولية التناسلية، زوج من الطيات النسيجية الوس
طية تقع قليلاً خلف النتوء التناسلى؛ و
- الثنيات الشفرية الصفن، زوج أكبر من الطيات النسيجية الجانبية بالنسبة ل
لثنيات البولية التناسلية.

بحلول نهاية الأسبوع التاسع، يبدأ الجنين فى إظهار التمايز الجن
سى، وتتكون الأعضاء التناسلية الذكرية أو الأنثوية بشكل واضح بحلول
نهاية الأسبوع الثانى عشر. فى الأنثى، تتحول الهياكل الثلاثة المذكورة
سابقًا إلى غدة البظر، والشفرين الصغيرين، والشفرين الكبيرين على ا
لتوالى؛ ويتم وصفها بشكل أكثر تفصيلاً فى الفصل التالى. فى الذكر،
يطول النتوء التناسلى ليشكل القضيب؛ تندمج الثنيات البولية التنا
سلية لتغلق الإحليل، مما يربط القضيب لتشكيل العضو الذكرى؛ وتند
مج الثنيات الشفرية الصفن لتشكل كيس الصفن، وهو كيس سيحتو
ى لاحقًا على الخصيتين.
الأعضاء الذكرية والأنثوية التى تتطور من نفس الهيكل الجنينى
تُسمى متجانسة. وبالتالى، فإن القضيب متجانس مع البظر وكيس ا
لصفن متجانس مع الشفرين الكبيرين.
يصبح هذا واضحًا بشكل لافت فى بعض اضطرابات التطور الجنسى،
كما هو موضح فى القسم السابق.

27.1ح نزول الغدد التناسلية

تتطور الغدد التناسلية الذكرية والأنثوية فى البداية فى الجزء العلوى م
ن تجويف البطن، بالقرب من الكليتين، وتهاجر إلى تجويف الحوض)ا
لمبايض(أو كيس الصفن)الخصيتين(. فى الجنين، يوجد نسيج صام

27.1د الهرمونات قبل الولادة والتفر
يق الجنسى

لا ينتهى تحديد الجنس عند الإخصاب فقط. بل يتطلب تفاعلًا بين الج
ينات والهرمونات التى تنتجها الأم والجنين. كما رأينا مع هرمونات أخر
ى، فإن الهرمونات المعنية هنا تحتاج إلى مستقبلات محددة على خلا
يا الهدف لتُحدث تأثيرها.
حتى نقطة معينة، يكون الجنين غير مميز جنسياً، أو "غير ملتزم" بالن
سبة للجنس الذى سيصبح عليه. تبدأ الغدد التناسلية فى التطور فى الأس
بوع الخامس إلى السادس *كحواف الغدد التناسلية*، كل واحدة تقع بجانب
كلية بدائية، وهى *الكلية الوسيطية)ميزونيفروس(*، التى تتحلل لاحقاً.
بجانب كل حافة غدد تناسلية يوجد قناتان: القناة الميزونيفرية MEZ[4])
oh-NEF-ric(، التى تخدم فى الأصل الكلية الوسيطية
، والقناة الباراميزونيفرية[5]. فى الذكور، تتطور القنوات الميزونيفرية إل
ى الجهاز التناسلى وتتلاشى القنوات الباراميزونيفرية. فى الإناث، يحد
ث العكس)الشكل 27.3(.
لكن لماذا؟ يحتوى كروموسوم Y على جين يسمى SRY)منطقة
تحديد الجنس فى Y(الذى يشفر لبروتين يسمى عامل تحديد الخصية
.(TDF) يتفاعل TDF بعد ذلك مع جينات على بعض الكروموسومات
الأخرى، بما فى ذلك جين على كروموسوم X لمستقبلات الأندروجين و
جينات تبدأ تطوير التشريح الذكرى. بحلول الأسبوع الثامن إلى التاسع،
أصبحت الحافة الغددية الذكرية خصية بدائية تبدأ فى إفراز التستوس
تيرون. يحفز التستوستيرون القناة الميزونيفرية على جانبه لتتطور إلى
نظام القنوات التناسلية الذكرية. فى هذا الوقت، تفرز الخصية أيضاً هر
موناً يسمى عامل تثبيط مولر)MIF(الذى يسبب ضمور القناة البارام
يزونيفرية)المعروفة سابقاً باسم *القناة المولرية*(على ذلك الجانب. ح
تى الذكر البالغ، يحتفظ بآثار صغيرة على شكل Y للقنوات الباراميزونى
فرية، مثل رحم وأنبوب رحم بدائى، فى منطقة الإحليل البروستاتى.

قد يبدو أن الأندروجينات يجب أن تحفز تكوين الجهاز التناسلى ا
لذكرى والإستروجينات تحفز الجهاز التناسلى الأنثوى. ومع ذلك، يكون
مستوى الإستروجين مرتفعاً دائماً أثناء الحمل، فإذا كان هذا هو الحا
ل، فسيؤدى ذلك إلى تأنيث جميع الأجنة.
لذا، فإن تطور الأنثى ينتج عن غياب الأندروجينات، وليس وجود الإس
تروجينات.

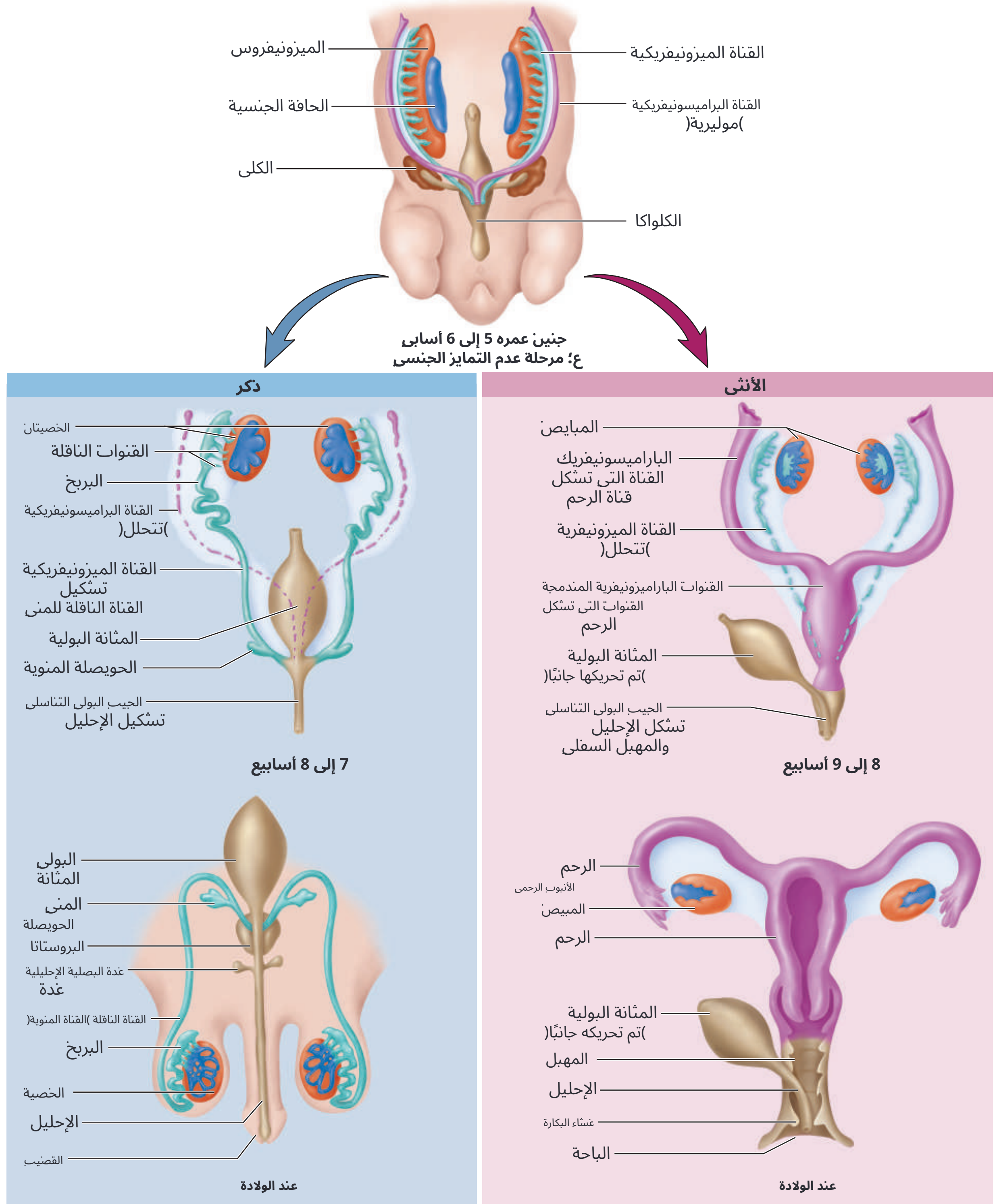
27.1e الجنس، بين الجنسين، والهوية الجنسية

ينطبق النقاش السابق حول تحديد الجنس على حوالى 99% من الأفر
اد، الذين يوصفون أحياناً بـ"الأجناس الثلاثة G"، وهى الجينات، الغدد
التناسلية، والأعضاء التناسلية. الذكور الثلاثة G)معظم الذكور(لديهم
كروموسومات X وY مع جين *SRY* على Y؛ غدد تناسلية ذكورية)خصى
(؛ وأعضاء تناسلية خارجية وداخلية ذكورية. الإناث الثلاثة G)معظم ا
لإناث(لديهن كروموسومان X ولا يوجد جين *SRY*؛ غدد تناسلية أنثوية
)مبايض(؛ وأعضاء تناسلية خارجية وداخلية أنثوية. لكن ليس الجميع
يتناسبون بدقة مع هذا التصنيف الثنائى، مع وجود فقط فئتين إما ذ
كر أو أنثى. حوالى 1% من الأفراد هم بين الجنسين، مع تفاوتات بين ا
لثلاثة G — "ذكر" فى بعض النواحى و"أنثى" فى نواحٍ أخرى.

لقد رأينا بالفعل، فى هذا الكتاب، بعض الطرق التى يمكن أن يحدث
بها ذلك. من خلال التبادل الجينى أثناء الانقسام الاختزالى بين *المناطق الز
ائفة للجنس* فى كروموسومات X وY، يمكن لجين تحديد الذكورة *SRY*

---

[4]مزو = وسط؛ نفر = كلية
[5]*para* = بجانب؛ *meso*= وسط؛ *nephr*= كلية



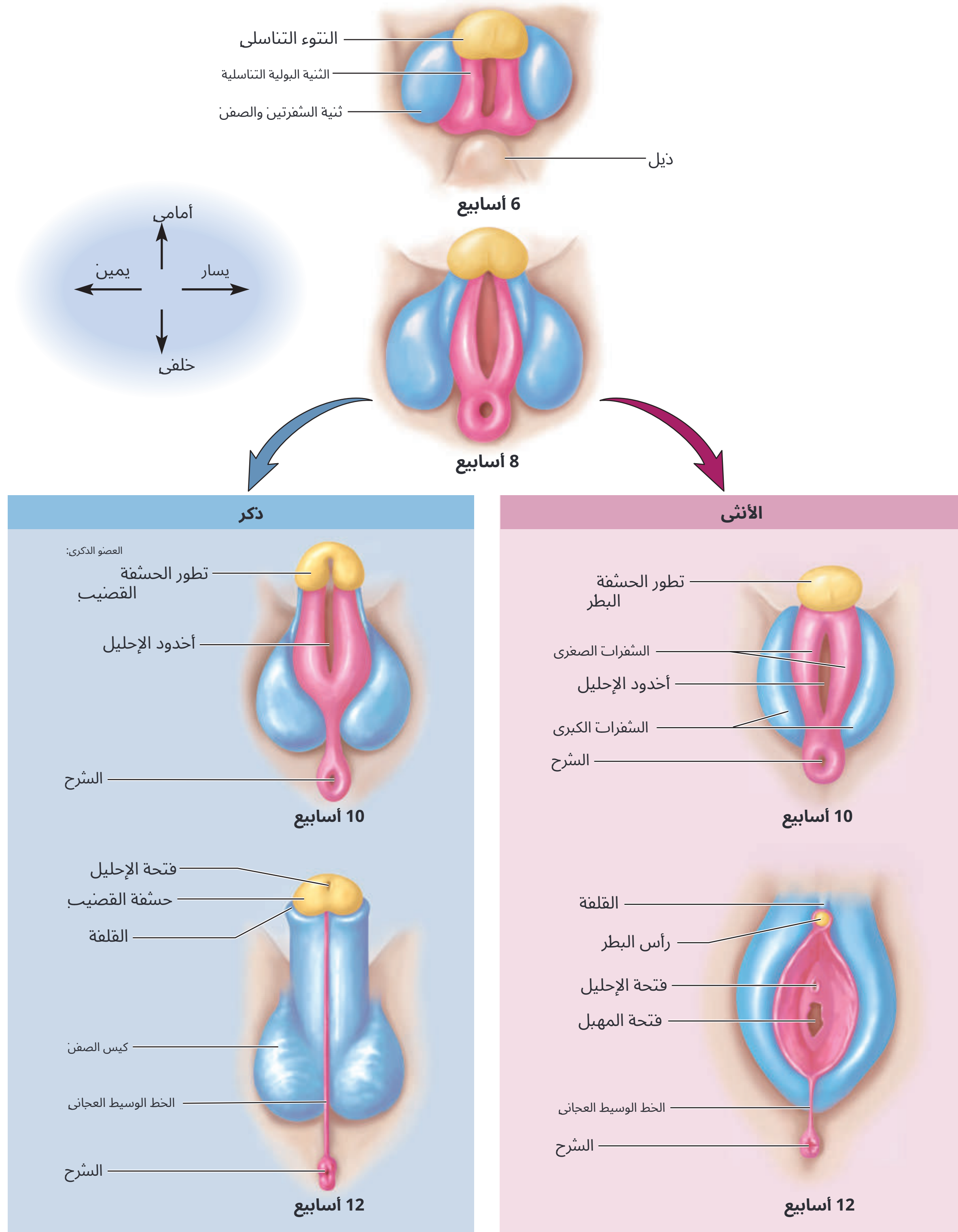
الشكل 27.3 تطور الأجنة للمسالك التناسلية الذكرية والأنثوية. لاحظ أن المسلك الذكرى يتطور من القناة الميزونيفرية والمسلك الأنثوى من القناة البارامیزونيفرية؛ القناة الأخرى فى كل جنس تتحلل.

تورم الصفن. بغض النظر عن هجرة الخصية، فإن المنطقة المحيطة بها - كما يتطور ال toneum أيضًا ليشكل طية تمتد إلى كيس الصفن كـ *المهبل*[7] *العملية*. ينشأ الحبل التناسلى والعملية المهبلية مسارًا منخفض المقاومة عبر الأربية، أمام العانة

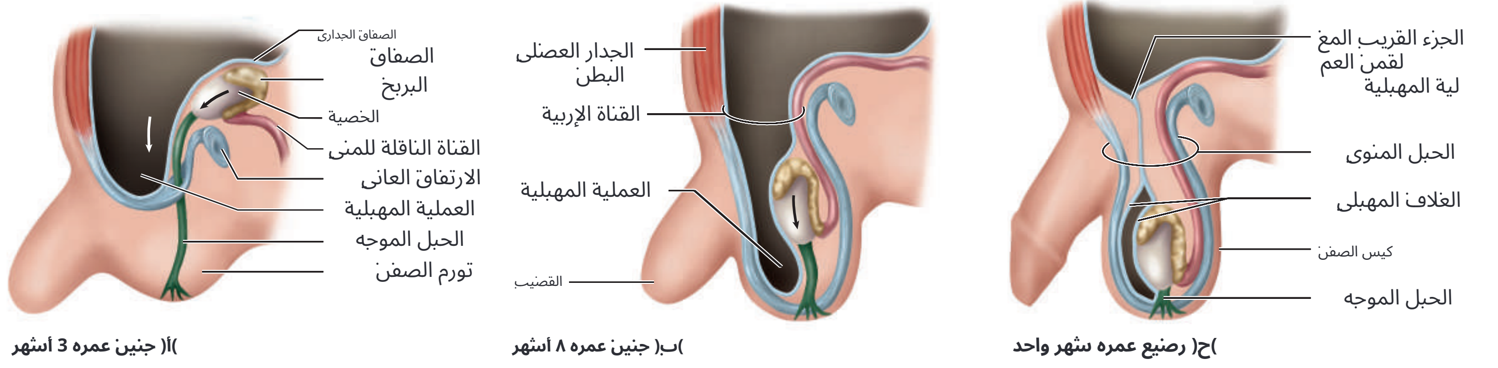
الحبل النسيجى المسمى *الحبل الموجه*[6]-GOO-bur-NACK-you) lum(يثبت الغدة التناسلية فى قاع تجويف البطن والحوض. بينما يستمر نمو الحبل التناسلى الذكرى، يمر عبر- بين عضلات المائل الداخلية والخارجية وداخل

[7] *المهبل* = الغمد

[6] *gubern*= دفة، لتوجيه



الشكل 27.4 تطور الأعضاء التناسلية الخارجية. بحلول الأسبوع السادس، يكون للجنين ثلاث هياكل أولية — النتوء التناسلى، الثنيات البولية التناسلية، وثنيات الشفرتين والصفن — التى ستتطور لتصبح الأعضاء التناسلية الذكرية أو الأنثوية. فى الأسبوع الثامن، تكون هذه الهياكل قد نمت ولكن الأجناس لا تزال غير مميزة. يمكن ملاحظة تمايز جنسى طفيف فى الأسبوع العاشر، وتصبح الأجناس مميزة تمامًا بحلول الأسبوع الثانى عشر. الألوان المتطابقة تحدد الهياكل المتماثلة للذكر والأنثى.



الشكل 27.5 نزول الخصية.)أ(موضع الخصيتين فى البطن لجنين عمره ٣ أشهر.)ب(نزول الخصيتين فى جنين عمره ٨ أشهر.)ج(موضع الخصيتين فى كيس الصفن لرضيع عمره شهر واحد. لاحظ أن الخصية والقنوات المنوية تقع خلف الصفاق. امتداد من الصفاق يسمى العملية المهبلية يمر عبر القناة الإربية ويصبح الغلاف المهبلى.

لماذا يُسمى هذا التركيب فى التشريح الذكرى الغلاف المهبلى؟

الارتفاق، المسمى القناة الإربية— الموقع الأكثر شيوعًا للفتق عند الذ كور)*الفتق الإربى؛* انظر التعمق 10.3(.

يبدأ نزول الخصيتين)الشكل 27.5(فى وقت مبكر من الأسبوع السادس. يتحلل الجزء العلوى من الغدد التناسلية الجنينية ويهاجر الجزء السفلى إلى الأسفل، موجهًا بواسطة الحبل المنوى. فى الشهر السابع، تمر الخ صيتان فجأة عبر القنوات الإربية إلى كيس الصفن. أثناء نزولهما، يراف قهما الشرايين والأوردة الخصوية التى تزداد طولًا، بالإضافة إلى الأوع ية اللمفاوية، والأعصاب، والقنوات المنوية، وتمتد عضلة المائل الداخ لى. يصبح السائل المهبلى منفصلًا عن تجويف الصفاق ويستمر ككى س، وهو *الغلاف المهبلى* الذى يغلف الجوانب الأمامية والجانبية للخ صية ويحميها من الاحتكاك مع كيس الصفن أثناء حركة الجسم.

لا يزال آلية النزول الفعلية غير واضحة، على الرغم من تقديم عدة فرضيات. يحفز التستوستيرون النزول، لكن الطريقة غير معروفة. س تم شرح سبب ضرورة هذا النزول فى القسم التالى.

يولد حوالى 3% من الأولاد بخصيتين غير نازلتين، أو عدم نزول ا لخصية)cryptorchidism( )كريبـ-تور-كيد-إزم(. فى معظم هذه الحا لات، تنزل الخصيتان خلال السنة الأولى من الطفولة، ولكن إذا لم تنز ل، يمكن عادةً تصحيح الحالة بحقنة تستوستيرون أو جراحة بسيطة ل توسيع القنوات الإربية وسحب الخصيتين إلى كيس الصفن. ومع ذل ك، يؤدى عدم تصحيح عدم نزول الخصية حتمًا إلى العقم وأحيانًا إلى سرطان الخصية.

تنزل المبايض أيضًا، ولكن بدرجة أقل بكثير. يمتد الحبل المنوى ا لأنثوى من القطب السفلى للمبيض إلى طية الشفرين. تستقر المباي ض فى النهاية أسفل حافة الحوض الصغير. يصبح كل حبل منوى زوجً ا من الأربطة التى تدعم المبيض والرحم.

قبل المتابعة

أجب أو أكمل ما يلى لاختبار فهمك للقسم السابق:

1. عرف الغدة التناسلية والجاميت. اشرح العلاقة بين المصطلحين.
2. حدد الذكر، الأنثى، الحيوانات المنوية، و البويضة.
3. ما هى القنوات الميزونيفرية والقنوات الباراميزونيفرية؟ ما العوامل التى تحدد أيهما يتطور وأيهما يتراجع فى الجنين؟
4. ما هو الهيكل الذكرى الذى يتطور من التورم التناسلى والطيات البول ة التناسلية؟ ماذا يتطور من الطيات الشفرية الصفن؟
5. صف المسار الذى يسلكه الخصية الذكرية أثناء نزولها.

27.2 التشريح التناسلى الذ كرى APR

النتائج التعليمية المتوقعة

عندما تكمل هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. صف تشريح كيس الصفن والخصيتين والقضيب؛
ب. صف المسار الذى يسلكه الحيوان المنوى من تكوينه حتى قذفه، مع تسمية جميع الممرات التى يمر بها؛ و
ج. اذكر أسماء ومواقع ووظائف الغدد التناسلية الملحقة الذكرية.

سوف نستعرض الجهاز التناسلى الذكرى بترتيب حسب مواقع تكوين الحيوانات المنوية، ونقلها، وقذفها — بدءًا من كيس الصفن والخصي تين، مرورًا بقنوات الحيوانات المنوية والغدد الملحقة المرتبطة بها، وا نتهاءً بالقضيب.

27.2أ كيس الصفن

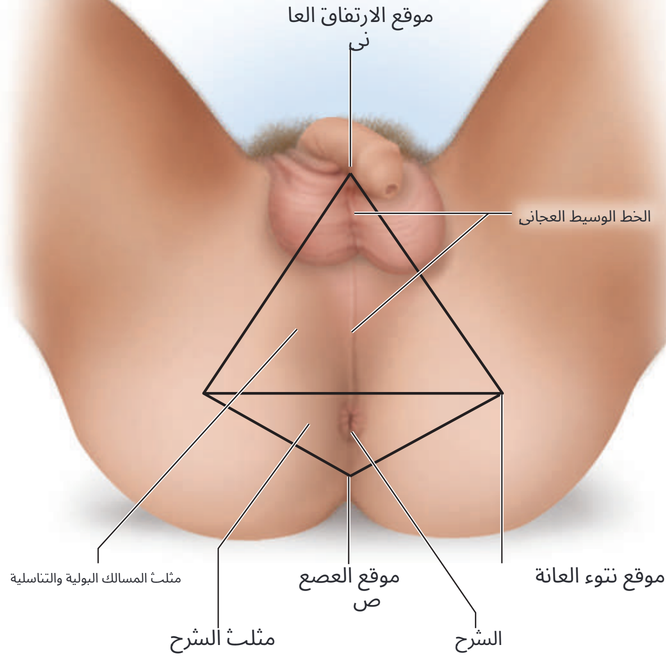
الصفن والقضيب يشكلان الأعضاء التناسلية الخارجية للذكر ويشغلان منطقة العجان)PERR-ih-NEE-um(.

[9] *بيرى* = حول؛ *نيوم*، من *إينان* = التفريغ

[8] *كريبتو* = مخفى؛ *أوركيد* = خصية؛ *إيسم* = حالة

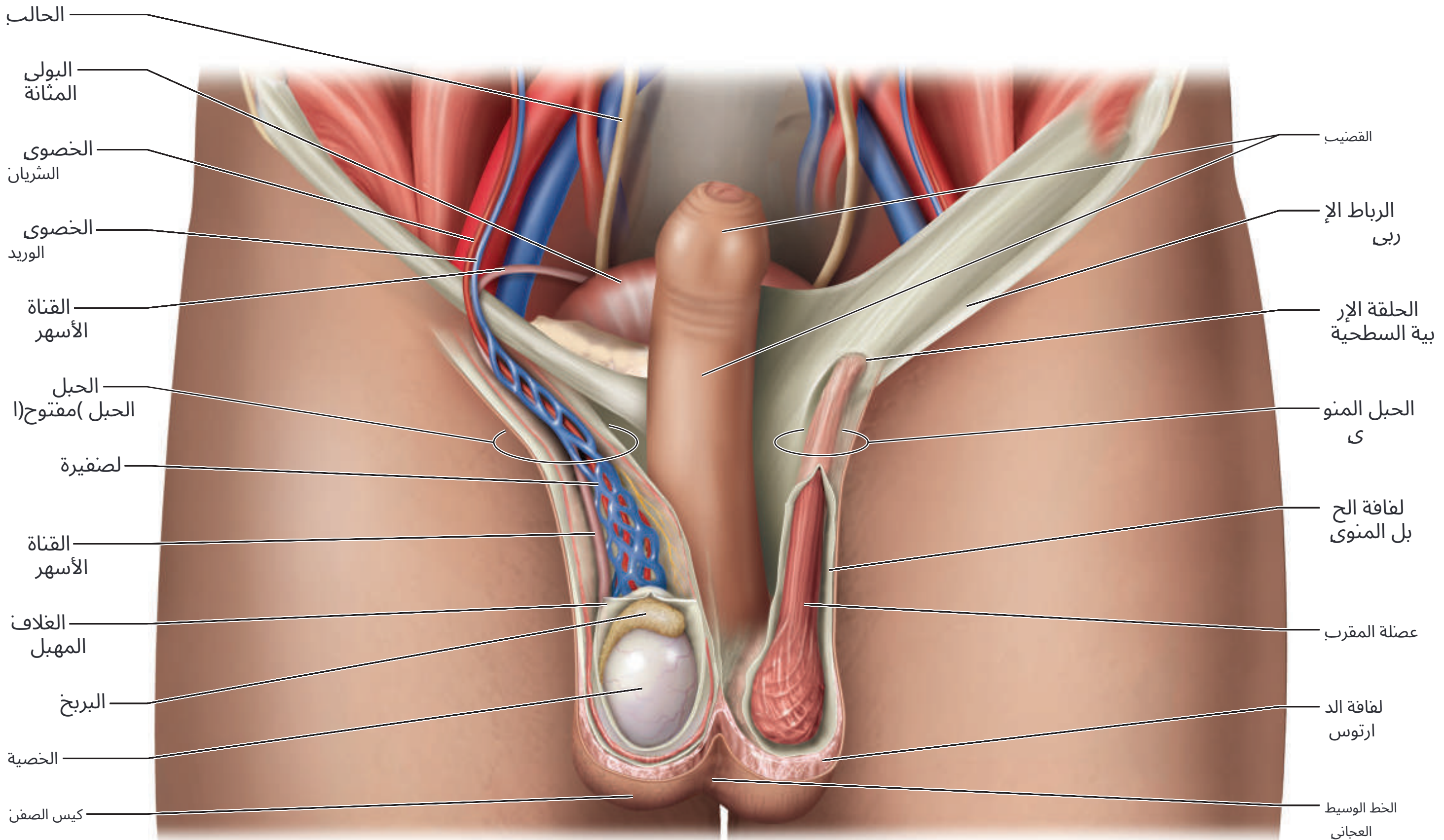
منطقة على شكل ماسة بين الفخذين تحدها العانة الارتفاق العانى، نتوءات العجز، والعصعص)الشكل 27.6(.
الصفن[10] هو كيس متدلى من الجلد والعضلات والنسيج الضام الليفى، يحتوى على الخصيتين)الشكل 27.7(. يحتوى الجلد على غدد دهنية، شعر خفيف، تعصيب حسى غنى، ولون أغمق قليلاً من الجلد فى أماكن أخرى. تحت الجلد مباشرة توجد طبقة من العضلات الملساء والنسيج الضام تسمى اللفافة الدارتوس[11]؛ عضلتها تسمى عضلة الدارتوس.
العضلة تكون عادة متقلصة إلى حد ما، مما يعطى الجلد ملمسًا مجعدًا. ينقسم الصفن إلى حجرتين يمينية ويسارية بواسطة حاجز داخلى الحاجز المتوسط، الذى يمنع انتشار العدوى من خصية إلى الأخرى. موقع الحاجز محدد خارجيًا بخط يسمى الندبة العجانية)RAY-fee(، والتى تمتد أيضًا إلى الأمام على الجانب البطنى للقضيب وإلى الخلف حتى حافة الشرج.

عادةً ما تكون الخصية اليسرى معلقة أقل من اليمنى.
فى الخلف، يحتوى الصفن على الحبل المنوى، وهو حزمة من النسيج الضام الليفى تحتوى على القناة الدافقة)قناة الحيوانات المنوية(، الأوعية اللمفاوية، الأعصاب الخصوية، الشريان الخصوى، ومجمع من الأوردة يسمى الضفيرة البامبينية[12] التى تحيط بإحكام بالشريان. يمر الحبل صعودًا خلف وفوق الخصية، حيث يمكن تحسسه بسهولة من خلال جلد

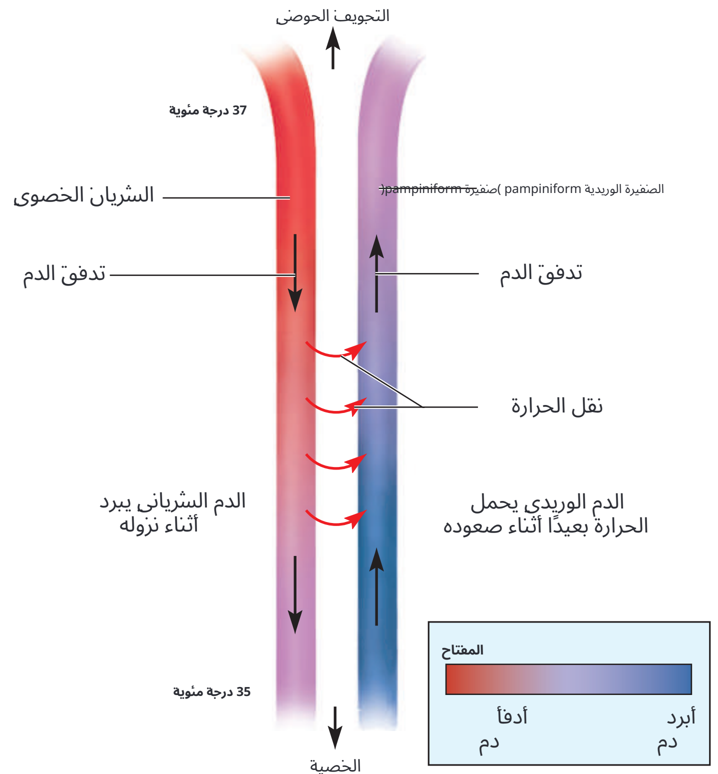


A&PR الشكل 27.6 العجان الذكرى.

[10] الصفن = كيس
[11] العضلة الدارتوس = الجلد
[12] الكرمة = كرمة؛ الشكل = شكل



A&PR الشكل 27.7 الصفن والحبل المنوى.



الشكل 27.8 مبادل الحرارة المتعاكس. على الرغم من تصويره كوعاء واحد، فإن الضفيرة pampiniform هى شبكة من الأوردة تحيط بالشريان الخصوى)انظر الشكل 27.7(. لاحظ تبريد الدم الشريانى أثناء نزوله فى الشريان وانتقال حرارته إلى الدم الوريدى الصاعد المجاور.

الأنبوب المنوى له تجويف ضيق مبطن بطبقة سميكة من الطهارة الجرثومية. تتكون الطهارة من عدة طبقات من الخلايا الجرثومية فى طور التحول إلى حيوانات منوية، وعدد أقل بكثير من خلايا الممرضة الطويلة)الخلايا الداعمة، الخلايا الحاملة(، التى تحمى الخلايا الجرثومية وتعزز نموها. تعتمد الخلايا الجرثومية على خلايا الممرضة فى الحصول على المغذيات، وإزالة الفضلات، وعوامل النمو، واحتياجات أخرى. كما تفرز خلايا الممرضة بروتينين يُدعيان بروتين ربط الأندروجين والإنهبين، وكلاهما ينظمان إنتاج الحيوانات المنوية بطرق سيتم شرحها لاحقًا.

شكل خلية الممرضة يشبه إلى حد ما جذع شجرة تمتد جذورها على الغشاء القاعدى، مكونةً حدود الأنبوب، بينما يصل الجذع السميك إلى تجويف الأنبوب.

تشكل الوصلات المحكمة بين خلايا الممرضة المجاورة حاجز الدم-الخصية، الذى يمكن خلايا الممرضة من تنظيم البيئة الكيميائية للحيوانات المنوية النامية وحمايتها من الأجسام المضادة والمواد الضارة الأخرى الموجودة فى الدم وسوائل الأنسجة.

هذا مهم لأن الخلايا الجرثومية، كونها مختلفة جينيًا عن باقى خلايا الجسم، قد تتعرض لهجوم من الجهاز المناعى. تحدث بعض حالات العقم عندما يفشل حاجز الدم-الخصية فى التكون بشكل كافٍ خلال فترة المراهقة أو يتعرض للتلف لاحقًا فى الحياة، مما يسمح للجهاز المناعى بإنتاج أجسام مضادة ذاتية ضد الخلايا الجرثومية.

[17] *sustent* = دعم

الصفن. يستمر عبر الجانب الأمامى للعانة وإلى قناة إربية بطول 4 سم، والتى تمر عبر عضلاتالأربية وتخرج إلى تجويف الحوض. المدخل السفليإلى القناة الإربية يسمى الحلقة الإربية السطحية)لصورة، انظر الشكل 10.17(، ومخرجها العلوى إلى تجويف الحوض هو الحلقة الإربية العميقة. داخل الصفن، الحبل المنوى محاط بأشرطة من العضلة المائلة الداخلية تسمى الكريماستر.[13]

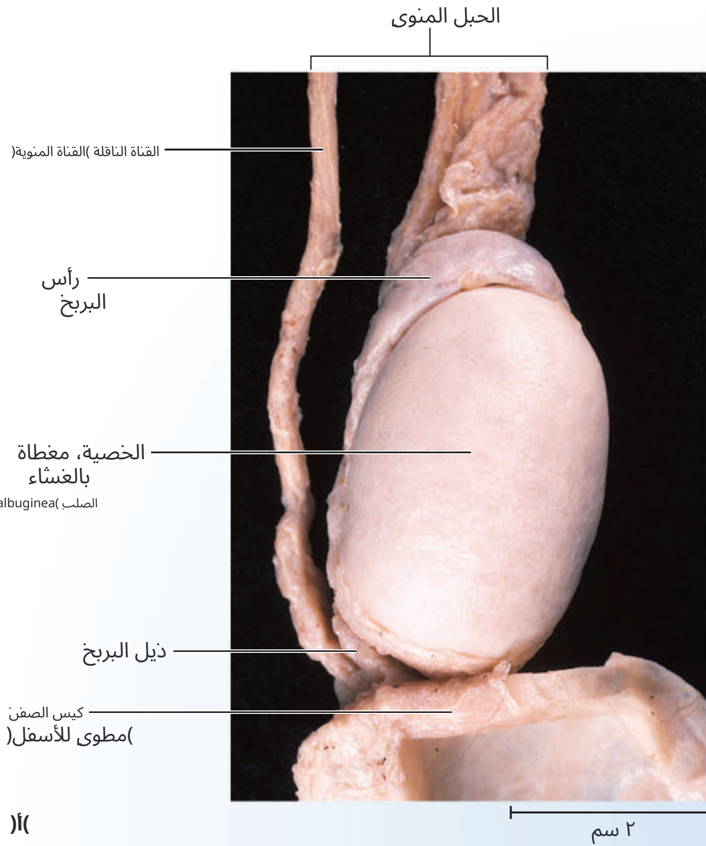
السبب الأصلى لتطور الصفن موضوع نقاش بين علماء الأحياء التناسلية؛ فهو غائب فى حوالى1600 نوع من الثدييات، بما فى ذلك الفيلة، الأبقار البحرية، والحيتان، لذا فهو ليس ضروريًا عالميًا لإنتاج الحيوانات المنوية لدى الثدييات. ومع ذلك، لأى سبب كانت الخصيتان البشريتان تقيمان فى الصفن، فقد تكيفتا الآن مع هذا البيئة الأكثر برودة ولا يمكنهما إنتاج الحيوانات المنوية عند درجة حرارة الجسم الأساسية 37 درجة مئوية؛ يجب أن تُحفظ عند حوالى 35 درجة مئوية. للصفن ثلاث آليات لتنظيم درجة حرارة الخصيتين:

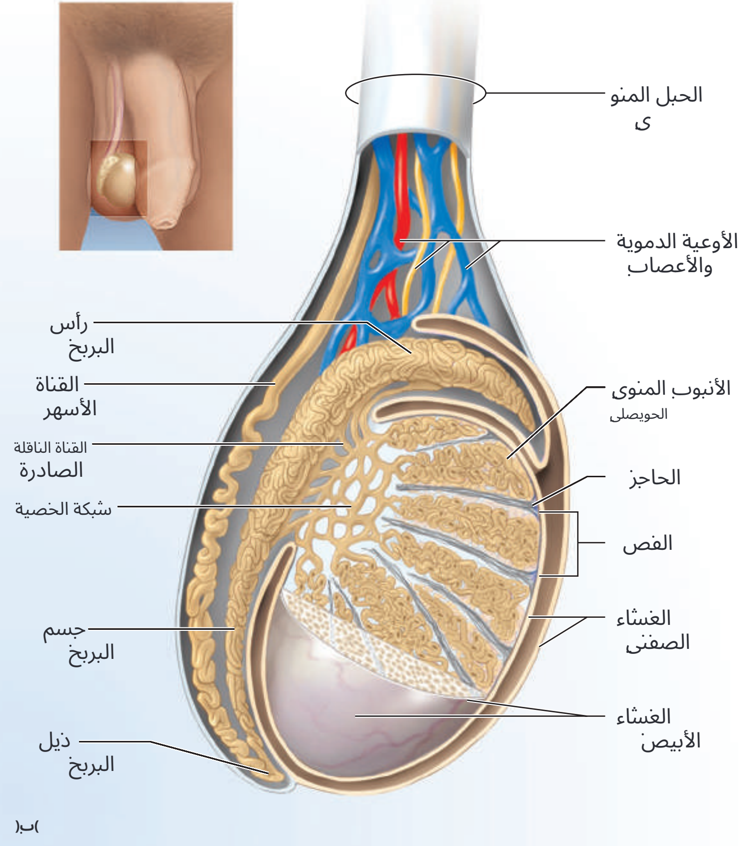
1. الكريماستر. عندما يكون الجو باردًا، ينقبض الكريماستر ويسحب الخصيتين أقرب إلى الجسم للحفاظ على دفئهما. عندما يكون الجو دافئًا، يرتخى الكريماستر وتُعلق الخصيتان بعيدًا عن الجسم.
2. عضلة الدارتوس. هذه أيضًا تنقبض عندما يكون الجو باردًا، ويصبح الصفن مشدودًا وأكثر تجعدًا. شد الصفن يساعد على تثبيت الخصيتين بإحكام ضد الجسم الدافئ ويقلل من مساحة سطح الصفن، مما يقلل فقدان الحرارة.
3. الضفيرة البامبينية. بدون هذه الضفيرة الوريدية، كان الدم الشريانى الدافئ سيُسخن الخصية ويُعيق إنتاج الحيوانات المنوية. لكن الضفيرة البامبينية تمنع ذلك من خلال عملها كـ *مبادل حرارى عكسى*)الشكل 27.8(. الدم الوريدى البارد نسبيًا الصاعد عبر الحبل المنوى نحو تجويف الحوض يسحب الحرارة من الدم الشريانى النازل إلى الخصية، لذا بحلول الوقت الذى يصل فيه الدم الشريانى إلى الخصية يكون أبرد بمقدار 1.5° إلى 2.5° مئوية من درجة حرارة الجسم الأساسية.

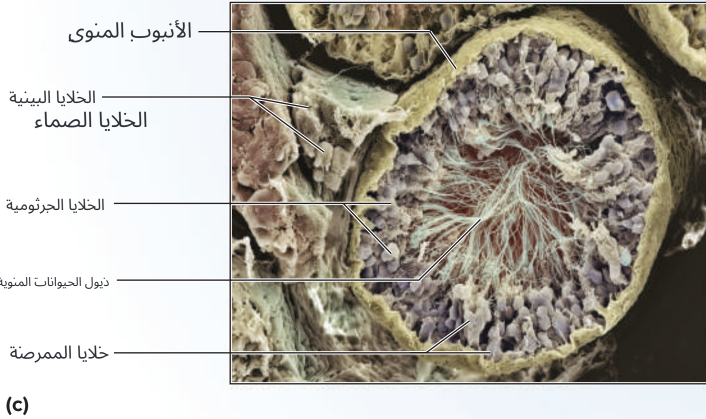
27.2ب الخصيتان

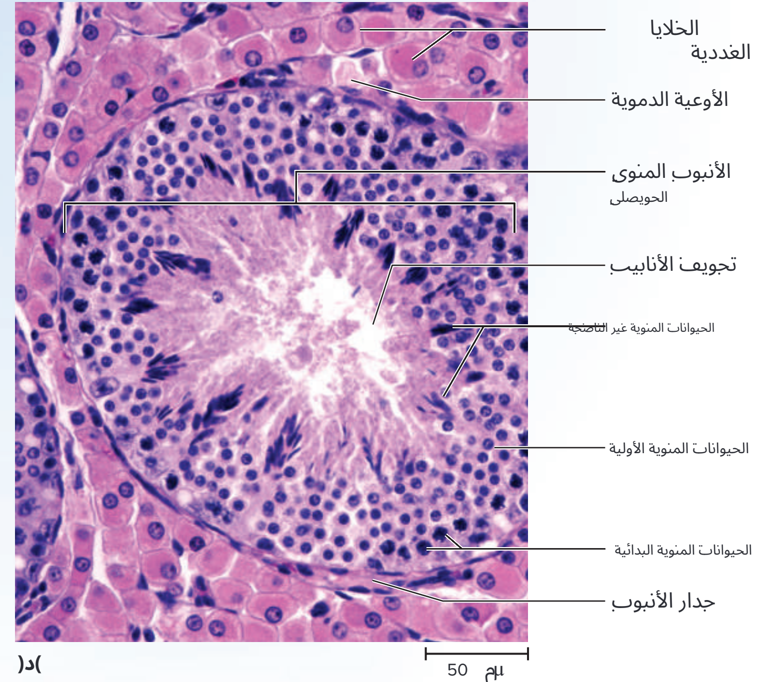
الخصيتان)الخصى( )الشكل 27.9(هما غدد صماء وخارجية مشتركة تنتجان الهرمونات الجنسية والحيوانات المنوية. الخصية بيضاوية الشكل ومسطحة قليلاً، طولها حوالى 4 سم، و3 سم من الأمام إلى الخلف، وعرضها 2.5 سم. يغطى سطحها الأمامى والجانبى الغشاء التناسلى)tunica vaginalis(. الخصية نفسها محاطة بكبسولة ليفية بيضاء تسمى الغشاء الأبيض)tunica albuginea[14] تُنطق TOO-nih-ca AL-byu-JIN-ee-uh(. تمتد الحواجز النسيجية الضامة من الكبسولة إلى النسيج الداخلى، مقسمة إياه إلى 250 إلى 300 فصيص على شكل إسفين. يحتوى كل فصيص على واحد إلى ثلاثة قنوات منوية)seminiferous tubules[15] تُنطق SEM-ih-NIF-er-us(—قنوات رفيعة يصل طولها إلى 70 سم حيث تُنتج الحيوانات المنوية. بين القنوات المنوية توجد مجموعات من خلايا صماء خلايا بينية[16]، وهى مصدر هرمون التستوستيرون.

[13] *cremast* = لتعليق
[14] *tunica* = غلاف؛ *alb* = أبيض
[15] *semin* = بذرة، حيوان منوى؛ *fer* = يحمل
[16] *inter* = بين؛ *stit* = موضوع









الشكل 27.9 الخصية والهياكل المرتبطة بها.)أ(يتم فتح كيس الصفن وطيّه للأسفل لكشف الخصية والأعضاء المرتبطة بها.
)ب(تشريح الخصية، البربخ، والحبل المنوى.)ح(صورة مجهر إلكترونى ماسح لأنابيب المنوية.
)د(صورة مجهر ضوئى. لم يكن فى هذه المنطقة من الأنبوب حيوانات منوية ناضجة فى ذلك الوقت. APR

أ: دينيس ستريت/ماكجرو هيل؛ ح: ستيف غشمايسنر/ساينس سورس؛ د: خوسيه لويس كالفو/شترستوك

طول القناة حوالى 6 أمتار)20 قدمًا(، لكنها نحيفة وملتفة ل لغاية بحيث تُحزم فى بربخ طوله 7.5 سم فقط. تمتص القناة ح والى 90% من السائل الذى تفرزه الخصية.

الحيوانات المنوية غير ناضجة فسيولوجيًا عندما تترك الخصية لكنها تنضج أثناء مرورها عبر الرأس والجسم فى البربخ. فى حوا لى 20 يومًا، تصل إلى الذيل.
يتم تخزينها هنا وفى الجزء المجاور من القناة الناقلة)duct us deferens(فى انتظار القذف، وتظل صالحة لمد ة 40 إلى 60 يومًا. إذا أصبحت قديمة جدًا دون أن تُقذف، فإنها تتحلل ويقوم البربخ بإعادة امتصاصها.

- القناة الناقلة للحيوانات المنوية.[20] قناة البربخ تستقيم عند الذيل، وتدور 180°، وتصبح القناة الناقلة للحيوانات المنوية، المعروفة أيضًا باسم *القناة الناقلة*)والتى يأتى منها مصطلح *القطع القنوى*(. هذه أنبوب عضلى يبلغ طوله حوالى 45 سم و قطره 2.5 مم. تمر صعودًا عبر الحبل المنوى وقناة الفخذ وتدخل التجويف الحوضى. هناك، تدور نحو الوسط وتقترب من المثانة البولية. بعد مرورها بين المثانة والحالب، تنحنى القناة لأسفل خلف المثانة وتتسع لتشكل الأمبولة الطرفية.
تنتهى القناة الناقلة للحيوانات المنوية بالاتحاد مع قناة غدة ملحقة، وهى الحويصلة المنوية. القناة لها تجويف ضيق جدًا وجدار سميك من العضلات الملساء مزود بعصب وافر من الأليا ف العصبية الودية. القطع القنوى ، وهو طريقة جراحية لمنع ال حمل عند الذكور، يتكون من قطع جزء قصير من القناة الناقلة)ا لقناة(لمنع مرور الحيوانات المنوية.

- القناة القاذفة. حيث تلتقى القناة الناقلة للحيوانات المنوية و قناة الحويصلة المنوية، تشكلان قناة قاذفة قصيرة)2 سم(، تمر عبر البروستاتا وتفرغ فى الإحليل. القناة القاذفة هى آخر قنوا ت الحيوانات المنوية.

الإحليل الذكرى مشترك بين الجهاز التناسلى والجهاز البولى. يبلغ طوله حوالى 18 سم ويتكون من ثلاثة أجزاء: الإحليل البروستاتى، الإح ليل الغشائى، والإحليل الإسفنجى)القضيبى(. على الرغم من أنه يخد م كلا الوظيفتين البولية والتناسلية، إلا أنه لا يمكنه تمرير البول والسا ئل المنوى فى نفس الوقت لأسباب موضحة فى القسم 27.5c.

27.2د الغدد الملحقة

هناك ثلاث مجموعات من *الغدد الملحقة* فى الجهاز التناسلى الذكر ى — الحويصلات المنوية، البروستاتا، والغدد البصلية الإحليلية:

1. الحويصلات المنوية)الغدد المنوية(هى زوج من الغدد تقع خل ف المثانة البولية؛ يرتبط كل منها بقناة ناقلة للحيوانات المنوية. طول الحويصلة المنوية حوالى 5 سم، بأبعاد تقارب حجم الإص بع الصغير. لها كبسولة من النسيج الضام وطبقة أسفلها من العضلات الملساء. الجزء الإفرازى هو قناة متعرجة جدًا مع فروع عديدة تشكل متاهة معقدة. تفرغ فى القناة القاذفة. الإفراز الأ صفر للحويصلات المنوية يشكل حو 65% إلى 75% من السا ئل المنوى.

▶▶▶ طَبِّق ما تعرفه
هل تتوقع وجود شعيرات دموية فى جدران الأنابيب المنوية؟ ولماذا أو لماذا لا؟

تؤدى الأنابيب المنوية إلى شبكة تُسمى rete الخصية[18] (REE-tee(، المدمجة فى الغلاف على الجانب الخلفى للخصية.
تنضج الحيوانات المنوية جزئيًا فى الrete. يتم تحريكها بواسطة تد فق السائل الذى تفرزه خلايا الممرضة وبواسطة الأهداب على بعض خ لايا الrete. لا تسبح الحيوانات المنوية أثناء وجودها فى الجهاز التنا سلى الذكرى.
يتم تزويد كل خصية بواسطة الشريان الخصوى الذى ينشأ من ا لشريان الأبهر البطنى أسفل الشريان الكلوى مباشرة. هذا شريان طوي ل ونحيف يلتف نزولاً على الجدار البطنى الخلفى قبل أن يمر عبر القنا ة الأربية إلى كيس الصفن)انظر الشكل 27.7(. ضغط دمه منخفض ج دًا، وهو فى الواقع واحد من الشرايين القليلة التى لا يوجد لها نبض. و نتيجة لذلك، يكون تدفق الدم إلى الخصيتين ضئيلاً وتتلقى الخصيتان إمدادًا ضعيفًا من الأكسجين. استجابةً لذلك، تطور الحيوانات المنوية ميتوكوندريا كبيرة بشكل غير عادى، مما قد يؤهلها للبقاء فى البيئة م نخفضة الأكسجين فى الجهاز التناسلى الأنثوى.

يخرج الدم من الخصية عبر ضفيرة الأوردة pampiniform. عندم ا تمر هذه الأوردة عبر القناة الأربية، تلتقى وتشكل الوريد الخصوى. ي صب الوريد الخصوى الأيمن فى الوريد الأجوف السفلى، والوريد الخ صوى الأيسر يصب فى الوريد الكلوى الأيسر. كما تصرف الأوعية اللم فاوية كل خصية. تمر عبر القناة الأربية مع الأوردة وتتجه إلى العقد اللم فاوية المجاورة للشريان الأبهر السفلى. أما اللمف من القضيب وكي س الصفن فيتجه إلى العقد اللمفاوية المجاورة للشرايين والأوردة الحر قفية وفى المنطقة الأربية.

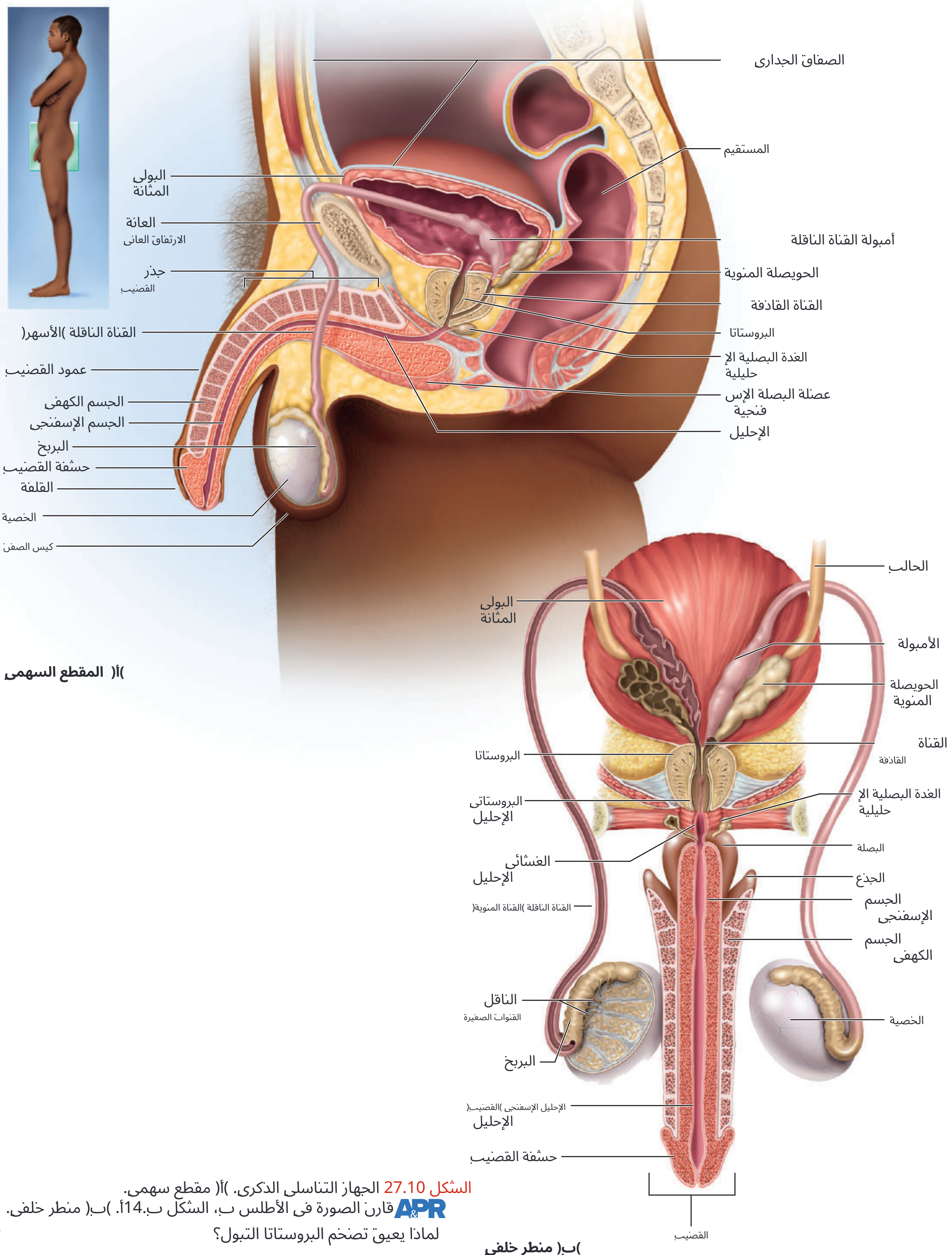
تصل الأعصاب الخصوية إلى الغدد التناسلية من فقرات الحبل ا لشوكى T10 وT11. هى أعصاب مختلطة حسية وحركية تحتوى فى ا لغالب على ألياف تعاطفية وأيضًا بعض الألياف اللا تعاطفية. الألياف الحسية تهتم بشكل رئيسى بالألم، والألياف التعاطفية هى فى الغالب وعائية عصبية، لتنظيم تدفق الدم.

27.2ح القنوات المنوية

بعد مغادرة الخصية، تسافر الحيوانات المنوية عبر سلسلة من *القنوا ت المنوية* للوصول إلى الإحليل)الشكل 27.10(. وتشمل ما يلى:

- القنوات الناقلة. تنشأ حوالى 12 قناة ناقلة صغيرة من الجانب الخلفى للخصية وتحمل الحيوانات المنوية إلى البربخ. تحتوى على مجموعات من الخلايا المهدبة التى تساعد فى دفع الح يوانات المنوية.
- قناة البربخ. البربخ[19])EP-ih-DID-ih-miss؛ الجمع، *البربخا ت*(هو موقع نضج وتخزين الحيوانات المنوية. يلتصق بالجانب ا لخلفى للخصية)الشكل 27.9(. الجزء العلوى على شكل نادى حيث يستقبل القنوات الناقلة يسمى *الرأس؛* والجزء الأوسط الطويل أسفل آخر قناة ناقلة هو *الجسم؛* والنهاية السفلية ا لنحيفة هى *الذيل.* يحتوى على قناة واحدة ملتفة مدمجة فى ال نسيج الضام.

[18] *rete* = شبكة
[19] *epi* = فوق؛ *didym* = توأم، خصيتان
[20] *de* = بعيد عن؛ *fer* = يحمل



الشكل 27.10 الجهاز التناسلى الذكرى.)أ(مقطع سهمى.
APR قارن الصورة فى الأطلس ب، الشكل ب.14أ.)ب(منظر خلفى.
لماذا يعيق تضخم البروستاتا التبول؟

2. البروستاتا[21](بروس-تات) تحيط بالإحليل وقنوات القذف م باشرة أسفل المثانة البولية (انظر التعمق 27.2). يبلغ حجمها حو الى 2 × 4 × 3 سم وهى تجمع من 30 إلى 50 غدة أنبوبية كي سية مركبة محاطة بكبسولة ليفية واحدة. تفرغ هذه الغدد من خلا ل حوالى 20 مسامًا فى جدار الإحليل. يتكون النسيج الداعم للبروستاتا من نسيج ضام وعضلات ملساء، مماثلة لتلك المو جودة فى الحويصلات المنوية. يشكل الإفراز اللبنى للبروستاتا حو الى 25% إلى 30% من السائل المنوى.

3. الغدد البولية الإحليلية سُميت لموقعها بالقرب من البصلة المتوسعة فى الطرف الداخلى للقضيب وارتباطها بالإحليل. هى غدد كروية بنية اللون يبلغ قطرها حوالى 1 سم، مع قناة بطول 2.5 سم تصل إلى الإحليل. أثناء الإثارة الجنسية، تنتج *سائل ما قبل القذف*، وهو سائل شفاف وزلق يزلق رأس القضيب تحضيرًا للجماع. والأهم من ذلك، أنه يحمى الحيوانات المنوية من خلال معادلة حموضة الإحليل الذكرى والمهبل الأنثوى، ويخلق مسارًا منخفض اللزوجة لسماح للحيوانات المنوية بالانتقال من المهبل، عبر قناة عنق الرحم، إلى الرحم.



نظرة أعمق 27.2

التطبيق السريرى

أمراض البروستاتا

يبلغ وزن البروستاتا حوالى 20 جرامًا عند سن 20، ويظل عند هذا الوزن حتى حوال ى سن 45، ثم يبدأ فى النمو ببطء مرة أخرى. بحلول سن 70، يعانى أكثر من 80% من الرجال من تضخم البروستاتا الحميد (BPH) — وهو تضخم غير سرطانى للغد ة. المضاعفة الرئيسية لهذا التضخم هى أنه يضغط على الإحليل، ويعيق تدفق ال بول، ويجعل من الصعب إفراغ المثانة بالكامل، وأحيانًا يعزز التهابات المثانة والك لى. يكون تضخم البروستاتا الحميد أكثر شيوعًا بين الرجال الذين يعانون من السم نة، وقلة النشاط البدنى، والإفراط فى استهلاك الكحول.

سرطان البروستاتا هو ثانى أكثر أنواع السرطان شيوعًا بين الرجال (بعد سرطان الرئة)؛ يصيب حوالى 12% من الرجال فى مرحلة ما من حياتهم، خاصة بعد سن 5 0. تميل أورام البروستاتا إلى التكون بالقرب من محيط الغدة، حيث لا تعيق تدفق البول؛ لذلك غالبًا ما تمر دون ملاحظة حتى تسبب الألم. غالبًا ما ينتشر سرطان ال بروستاتا إلى العقد اللمفاوية القريبة ثم إلى الرئتين وأعضاء أخرى. وهو أكثر شيوعًا بين الأمريكيين السود مقارنة بالأمريكيين البيض ونادر بين الأشخاص من أصل يا بانى.

موقع البروستاتا أمام المستقيم مباشرة يسمح بفحصها من خلال جدار المس تقيم للتحقق من وجود أورام.
تسمى هذه العملية الفحص الرقمى للمستقيم (DRE). يمكن أيضًا تشخيص سرط ان البروستاتا من خلال ارتفاع مستويات البروتياز السيرينى (المعروف أيضًا بمس تضد البروستاتا النوعى، PSA) والفوسفاتاز الحمضى (إنزيم بروستاتى آخر) فى الدم.
ينجو ما يصل إلى 80% من الرجال المصابين بسرطان البروستاتا إذا تم اكتشافه و علاجه مبكرًا، لكن نسبة النجاة تتراوح بين 10% إلى 50% إذا انتشر خارج كبسولة ا لبروستاتا. ومع ذلك، فهو سرطان ينمو ببطء شديد، فإذا اكتُشف فى وقت متأخر من الحياة، قد تفوق مخاطر الجراحة فوائدها، وقد يختار الطبيب والمريض عدم ع لاجه بشكل معقول. يمكن غالبًا إدارته حتى يموت المريض المسن بشكل طبيعى بسبب سبب آخر.

27.2هـ القضيب

القضيب[22]يعمل على إيداع السائل المنوى فى المهبل. نصفه هو جذر داخلى والنصف الآخر هو الجزء الظاهر خارجيًا العمود والرأس[23] (ال شكل 27.10، الشكل 27.11). الرأس هو الرأس المتوسع فى النهاية ا لبعيدة للقضيب مع فتحة الإحليل الخارجية فى قمته.
الجزء الخارجى من القضيب يبلغ طوله حوالى 8 إلى 10 سم (3–4 إنش) وبقطر 3 سم عندما يكون فى حالة ارتخاء (غير منتصب)؛
الأبعاد النموذجية للقضيب المنتصب هى من 13 إلى 18 سم (5–7 إنش) طولًا وبقطر 4 سم.

قد تكون المصطلحات الاتجاهية مربكة قليلاً فى القضيب، لأن ا لجانب الظهرى هو الذى يواجه الأمام، على الأقل عندما يكون القضي ب فى حالة ارتخاء، فى حين أن الجانب البطنى من القضيب يواجه ال خلف. ويرجع ذلك إلى أن القضيب فى معظم الثدييات يكون أفقيًا، و مثبتًا على البطن بواسطة الجلد، ويتجه إلى الأمام. يمر الإحليل عبر ن صفه السفلى، الأكثر وضوحًا كبطنى. تتبع المصطلحات الاتجاهية فى ا لقضيب البشرى نفس الاتفاقية المستخدمة فى الثدييات الأخرى، ع لى الرغم من أن وضعية الإنسان المنتصبة والقضيب المتدلى تغير ه ذه العلاقات التشريحية.

الجلد مرتبط بشكل فضفاض بجذع القضيب، مما يسمح بالحركة والتمدد أثناء الانتصاب. يستمر الجلد فوق الحشفة كـ القلفة (الجلد ا لقمى). السطح الداخلى للقلفة والسطح المواجه للحشفة مغطى بغشا ء مخاطى رقيق مشابه للسطح الداخلى لجفن العين. عند الولادة ولمد ة عدة سنوات بعدها، يكون هذان الغشائين ملتصقين ببعضهما البع ض؛ لذلك فإن محاولات سحب القلفة عند الرضع أو الأطفال قد تكو ن ضارة. تنفصل الأغشية تدريجيًا على مدى عدة سنوات؛ وعادة ما ت كتمل هذه العملية بحلول سن 17.

تبقى القلفة البالغة مثبتة على الحافة القريبة للحشفة بواسطة طية ن سيجية بطنية تسمى الرباط (frenulum). على عكس بعض المصادر، لا توجد غدد فى القلفة؛ ومع ذلك، فى بعض الذكور، تتراكم خلايا طلا ئية متقشرة وسوائل تحت القلفة على شكل إفراز كريمى يسمى السم ح (smegma). يحتوى الغشاء المخاطى للقلفة البالغة على خلايا شج يرية، وهى جزء من الجهاز المناعى (انظر القسم 21.1c)، مما يوفر حما ية من العدوى عند هذه الفتحة الجسمية. ومع ذلك، توفر هذه الخلايا ا لشجيرية وخلايا المهبل مسارًا محتملاً لدخول فيروس نقص المناعة ا لبشرية (HIV)، فيروس الإيدز. القلفة هى المنطقة الأكثر كثافة فى الأع صاب والأكثر حساسية فى القضيب، مع وفرة من أجسام لمسية وأع صاب مركزة فى نتوءات على السطح الداخلى القريب منها. لذلك، يز يل الختان الجزء الأكثر حساسية من القضيب. ثم يتحول الغشاء المخا طى المكشوف للحشفة إلى طبقة رقيقة وجافة وأقل حساسية من ال بشرة.

يتكون جذع القضيب بشكل رئيسى من ثلاثة أجسام أسطوانية تسمى الأنسجة الانتصابية، التى تمتلئ بالدم أثناء الإثارة الجنسية وت سبب تضخم القضيب وانتصابه. يمر جسم انتصابى واحد، وهو الج سم الإسفنجى، على الجانب البطنى للقضيب ويحيط بالإحليل القضي ب. ويتوسع فى الطرف البعيد ليملأ الحشفة بأكملها. قرب الحشفة، يو جد على الجانب الظهرى للقضيب الجسم الكهفى (الجسمان الكهفيان).

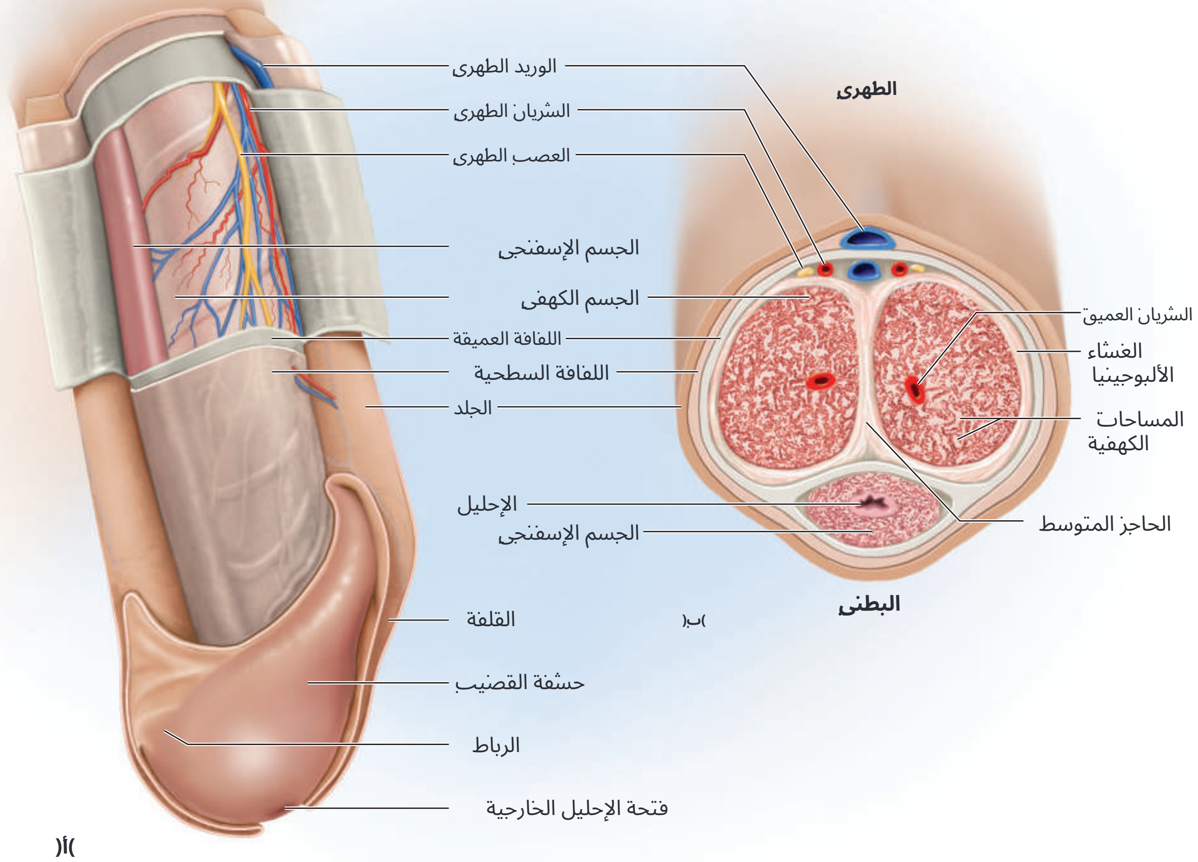
[21] *pro* = قبل؛ *stat* = الوقوف؛ يُخطئ كثيرًا فى كتابته ونطقه كـ "prostrate"

[22] *القضيب* = الذيل

[23] *الحشفة* = البلوط

[24] *الحبل* = اللجام؛ *ulum* = صغير

[25] *السمغما* = المرهم، الدهن، الصابون



APR **الشكل 27.11** تشريح القضيب.)أ(تشريح سطحى للجذع، منظر جانبى.)ب(مقطع عرضى عند منتصف الجذع.

ما الفائدة الوظيفية لعدم وجود الغشاء الأبيض)tunica albuginea(فى الجسم الإسفنجى)corpus spongiosum(؟

يتم مناقشة التعصيب وتروية الدم للقضيب لاحقًا بالارتباط مع آلية الانتصاب.

قبل المتابعة

أجب أو أكمل ما يلى لاختبار فهمك للقسم السابق:

6. اذكر أسماء ومواقع عضلتين تساعدان فى تنظيم درجة حرارة الخ صيتين. وصف كيف تؤديان هذه الوظيفة.

7. اذكر ثلاثة أنواع من الخلايا فى الخصيتين، وصف مواقعها ووظائفها .

8. اذكر جميع القنوات التى يتبعها الحيوان المنوى، بالترتيب، من وقت تكوينه فى الخصية حتى وقت القذف.

9. وصف مواقع ووظائف الحويصلات المنوية، والبروستاتا، والغدد ا لبصلية الإحليلية.

10. تسمية الأنسجة الانتصابية للقضيب، ووصف مواقعها بالنسبة ل بعضها البعض.

الكهفى)*cavernosa*(على كل جانب. كل واحد مغلف بغشاء ليفى الغشا ء الأبيض)tunica albuginea(، ويفصل بينهما الحاجز المتوسط)medi an septum(.)كن حذرًا من عدم الخلط بين هذا وبين الغشاء الأبيض للخ صية والحاجز المتوسط للكيس الصفن.(
جميع الأسطوانات الثلاثة للنسيج الانتصابى تبدو إسفنجية وتحتوى على العديد من الجيوب الدموية الصغيرة المسماة الفراغات الكهفية)cavernous spaces (lacunae)). الأقسام بين هذه الفراغات، المسماة الحواجز)trabeculae(، مكونة من نسيج ضام وعضلات ملساء حواجزية)trabecular muscle(. فى القضيب المترهل، يؤدى توتر العضلات فى الحواجز إلى انهيار ال فراغات الكهفية، التى تظهر كشقوق صغيرة فى النسيج.
عند سطح الجسم، ينحنى القضيب بزاوية 90° ويستمر داخليًا كج ذر. ينتهى الجسم الإسفنجى داخليًا كبصلة متوسعة)dilated bulb(، مغلفة بعضلة البصلة الإسفنجية)bulbospongiosus(ومرتبطة بالسطح السفلى لأرضية الحوض العضلية داخل المثلث البولى التنا سلى)انظر الشكل 10.21(. تتباعد الأجسام الكهفية مثل ذراعى حرف Y. كل ذراع، يسمى الساق)crus( )تنطق "كروس"(؛ الجمع الساقان)crura(، يربط القضيب بقوس العانة)ramus ischiopubic(والغ شاء العجانى على جانبه الخاص. كل ساق مغلفة بعضلة الإسكيوكهفية (ischiocavernosus).

- يحفز DHT نمو شعر العانة، وشعر الإبط، ولاحقًا شعر الوجه. تصبح البشرة أعمق وأكثر سمكًا وتفرز المزيد من الزهم، مما يؤدى غا لبًا إلى ظهور حب الشباب؛ يعانى مرضى حب الشباب من مس تويات DHT فى بشرتهم تتراوح بين 2 إلى 20 ضعف المستوى الطبيعى. تتطور غدد العرق الأبوكرينية فى مناطق العجان والإبط واللحية بالتزامن مع نمو الشعر فى تلك المناطق.

27.3ب التحكم الهرمونى فى الوظيفة التناسلية الذكرية

تفرز الخصيتان كميات كبيرة من التستوستيرون فى الثلث الأول)3 أ شهر(من تطور الجنين. حتى فى الأشهر القليلة الأولى من الطفولة، ت كون مستويات التستوستيرون تقريبًا بنفس مستوى منتصف البلوغ، ثم تصبح الخصيتان خاملة لبقية فترة الطفولة والرضاعة.

لا يزال السبب فى بدء البلوغ بين عمر 10 إلى 12 سنة وليس ق بل ذلك غير معروف. يبدو أن هناك كبحًا فى الطفولة على إفراز هرمو ن مطلق لموجهات الغدد التناسلية)GnRH(. يتيح التحرر من هذا الك بح فى أواخر الطفولة للوطاء إفراز المزيد من GnRH. ينتقل GnRH إل ى الغدة النخامية الأمامية ويحفز خلايا تسمى الخلايا الموجهة للغدد ا لتناسلية. تفرز هذه الخلايا هرمونى الغدة النخامية الموجهة للجريب) FSH) و الهرمون اللوتينى)LH( )انظر القسم 17.2ح(. من ذلك الحين وحتى مرحلة البلوغ، يتم تنظيم الوظيفة التناسلية من خلال التفاعلات الهرمونية بين الوطاء، والغدة النخامية، والغدد التناسلية—وهو ما يُعر ف بمحور الوطاء–النخامية–الغدد التناسلية.

يُطلق على هرمون LH أحيانًا اسم *الهرمون المنشط للخلايا الخلا لية)ICSH(* لأنه يحفز الخلايا الغددية الخلالية فى الخصيتين على إفراز الأندروجينات، وخاصة التستوستيرون. من بين العديد من تأثيرات ال تستوستيرون التى تم ذكرها سابقًا، فإنه يعزز إنتاج الحيوانات المنوية. ومع ذلك، يتطلب هذا التأثير أن تركز الخصيتان التستوستيرون فى ا لمواقع التى تتطور فيها الحيوانات المنوية. وهنا يأتى دور الهرمون الح نسى الآخر: الهرمون المنشط للجريب)FSH(، المسمى لوظيفته الأنثو ية(. يحفز FSH خلايا الممرضة فى الخصيتين على إفراز بروتين ربط ا لأندروجين)ABP(، الذى يرتبط بالتستوستيرون ويتراكم فى الأنابيب ا لمنوية والبربخ. لا يؤثر التستوستيرون على الخصيتين إذا غاب FSH و ABP. الحيوانات المنوية النامية لا تحتوى على مستق بلات للأندروجين ولا تستجيب له مباشرة.

لذا، يمكننا أن نرى أن تطور الخصيتين وإنتاج الحيوانات المنوية يعتمدان على إشارات من الغدة النخامية وفى النهاية من الوطاء، لكن هذه ليست القصة كاملة. ترسل الخصيتان أيضًا إشارات تغذية راجعة إلى تلك المواقع وتنظم إفراز الهرمونات المنشطة للغدد التناسلية)ا لشكل 27.12(. تفرز خلايا الممرضة ليس فقط ABP بل أيضًا هرمونًا يسمى الإنيبين)inhibin(، الذى يثبط بشكل انتقائى إفراز FSH من ا لغدة النخامية. يؤدى انخفاض مستوى FSH إلى تقليل معدل إنتاج ال حيوانات المنوية. ومع ذلك، إذا كان إنتاج الحيوانات المنوية بطيئًا جدًا)يُعبر عنه بعدد حيوانات منوية أقل من 20 مليون حيوان منوى لكل م ليلتر من السائل المنوى(، تنخفض مستويات الإنيبين، ويرتفع مستو ى FSH، ويزداد إنتاج الحيوانات المنوية. يوفر الإنيبين بذلك وسيلة للغ دة النخامية لمراقبة وضبط معدل إنتاج الحيوانات المنوية، دون تقليل إنتاج التستوستيرون)الذى يعتمد على إفراز LH وليس FSH(. ومع ذ لك، فإن للتستوستيرون أيضًا تأثيرات تغذية راجعة سلبية على الوطاء ، حيث يقلل من إفراز GnRH وحساسية الغدة النخامية له. وهذا يمكّ ن نظام الوطاء-الغدة النخامية من مراقبة وتنظيم إفراز التستوستيرون.

البلوغ، التحكم الهرمونى، والانقطاع 27.3

النتائج التعليمية المتوقعة

عندما تكمل هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف التحكم الهرمونى فى البلوغ؛

ب. وصف التغيرات الناتجة فى جسم الذكر؛ و

ج. تعريف ووصف الانقطاع الذكرى وتأثير الشيخوخة على وظيفة الجهاز التناسلى الذكرى.

على عكس أى نظام عضوى آخر، يظل الجهاز التناسلى خاملاً لعدة سنوات بعد الولادة. ومع ذلك، عند البلوغ، يثير ارتفاع هرمونى الجهاز التناسلى ويبدأ فى تحضيره لوظائفه التناسلية البالغة.

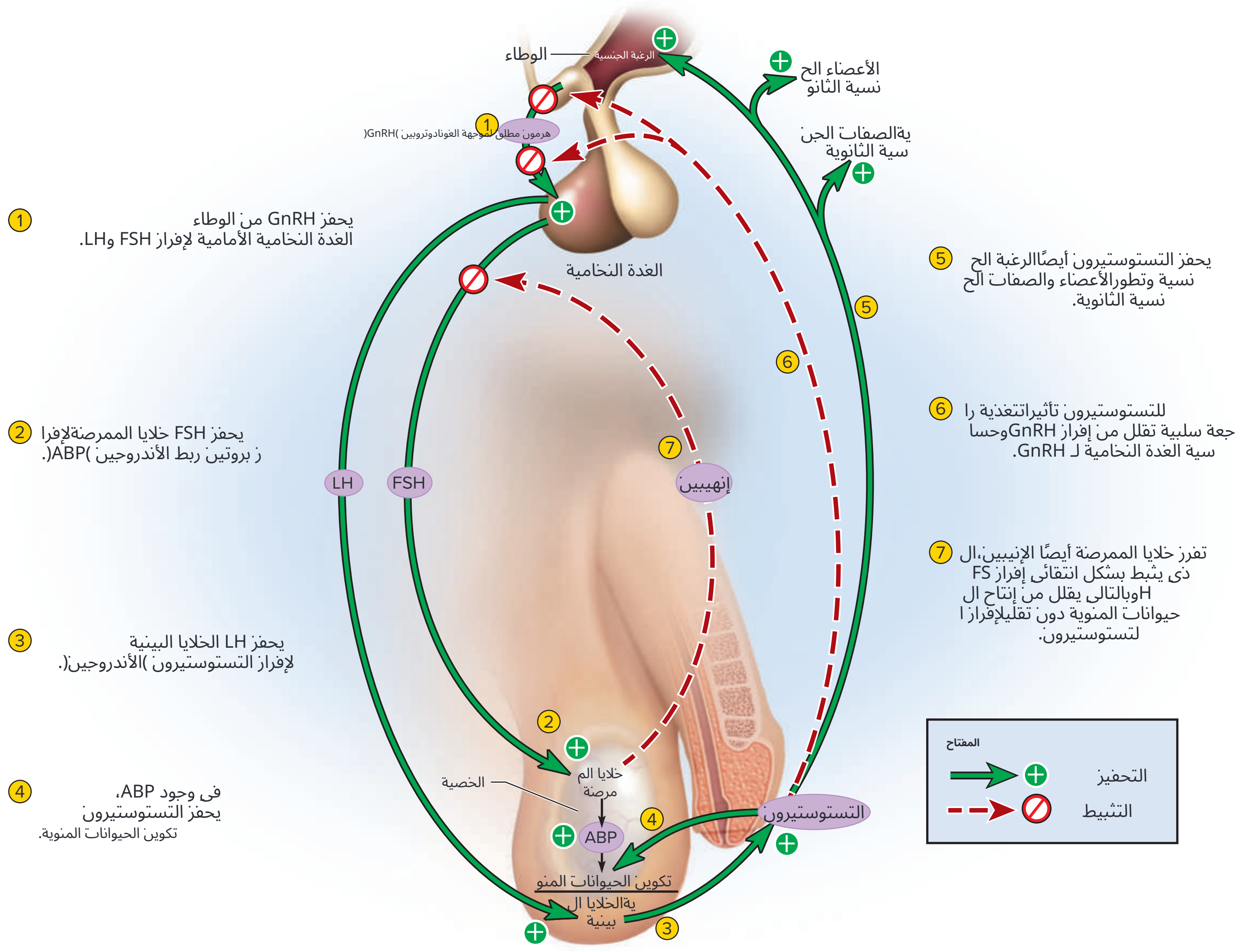
27.3أ البلوغ والمراهقة

تعريفات *البلوغ* و *المراهقة* تختلف. يعتبر هذا الكتاب البلوغ[26] عند الأ ولاد الفترة من بداية إفراز الغدد النخامية لهرمونات الغدد التناسلية)ع ادةً بين عمر 10 إلى 12 سنة(حتى أول قذف للحيوانات المنوية القابل ة للحياة)عادةً حوالى عمر 14 سنة(. الفصل التالى يصف المعايير وال فترة العمرية للفتيات. المراهقة[27] هى الفترة الأوسع التى تشمل البلو غ وتمتد حتى يصل الشخص إلى الطول الكامل للبالغين. الآليات الهر مونية التى سيتم شرحها فى القسم التالى—وخاصة ارتفاع مستويات *التستوستيرون و ديهيدروتستوستيرون)DHT(،* وهما الأندروجينات —تؤدى إلى العديد من التغيرات الجسدية التى يعرفها كل من مر بالم راهقة:

- تحفز نمو الأعضاء التناسلية. العلامة المرئية الأولى للبلوغ عادةً هى تضخم الخصيتين وكيس الصفن حوالى عمر 13 سنة. يستمر القضيب فى النمو لمدة حوالى سنتين إضافيتين بعد أن تصل الخصيتان إلى حجمهما الناضج. داخليًا، تتضخم القنوات والغدد الملحقة أيضًا.
- يحفز التستوستيرون إنتاج الحيوانات المنوية. إذا توقف إفراز التستوستيرون، ينخفض عدد الحيوانات المنوية وحجم السائل المنى بسرعة ويصبح الذكر عقيمًا.
- يحفز التستوستيرون طفرة فى النمو الجسدى العام—تطول عظام الأطراف بسرعة، ويزداد الطول وكتلة العضلات. يتضخم الحنجرة، مما يعمق الصوت ويجعل غضروف الغدة ا لدرقية أكثر بروزًا فى مقدمة العنق. حتى تكوين كريات الدم الح مراء يتسارع، مما يؤدى إلى زيادة عدد كريات الدم الحمراء و نسبة الهيماتوكريت لدى الذكور مقارنة بالإناث. مع كل هذا ا لنمو، يرتفع معدل الأيض الأساسى، مصحوبًا بزيادة فى الشهية .
- يحفز التستوستيرون أيضًا الدماغ ويوقظ الرغبة الجنسية)ا لدافع الجنسى(—على الرغم من أنه، وربما بشكل مفاجئ، تقوم الخلايا العصبية بتحويله إلى الإستروجين، وهو ما يؤثر مباشرة ع لى السلوك. مع زيادة الرغبة الجنسية والحساسية للمثيرات، تحدث الانتصابات بشكل متكرر وغالبًا ما يحدث القذف أثناء ال نوم)الانبعاثات الليلية، أو "الأحلام الرطبة"(.

---

[26] *puber*= بالغ
[27] *adolesc*= ينمو



الشكل 27.12 العلاقات الهرمونية بين الوطاء، الغدة النخامية، والخصية.

يحملون حملاً متزايدًا من الطفرات الجديدة. يكون لدى النسل الذي يُخ
صب بواسطة رجال أكبر سنًا معدل مرتفع من الإجهاض، ويظهر لدى ا
لمولودين معدل مرتفع من اضطرابات مثل الفصام واضطراب طيف ا
لتوحد.

مع تقديم الخصيتين لتثبيط سلبي أقل للوطاء والغدة النخامية، ترتفع مستويات FSH وLH لدى الرجال الأكبر سنًا. وبالاقتران مع انخ
فاض مستوى التستوستيرون، يمكن لهذه الهرمونات أن تسبب تغيرا
ت في المزاج والشخصية، والاكتئاب، والتعب.

حوالي 20% من الرجال في الستينيات و50% في الثمانينيات يعانون م
ن ضعف الانتصاب (ED، العجز الجنسي)— وهو عدم القدرة المتكررة ع
لى إنتاج أو الحفاظ على انتصاب كافٍ للجماع. يمكن أن يضيف ضعف ا
لانتصاب وتراجع النشاط الجنسي إلى هذه التأثيرات النفسية ويؤثر بش
كل كبير على تصور كبار السن لجودة الحياة. ومع ذلك، يظل أكثر من 90
% من الرجال المصابين بضعف الانتصاب قادرين على القذف.

يشير بعض الخبراء إلى هذه التغيرات باسم انقطاع الطمث الذكر
ي أو المرحلة الحرجة للذكور، بينما يرفض آخرون هذه التعبيرات لأنها
تدعو إلى مقارنة مضللة مع انقطاع الطمث. على الرغم من الإشارات ا
لطبية أو الساخرة إلى "انقطاع الطمث الذكري"، فإن المصطلح

▶▶▶ طَبِّق ما تعرفه

إذا تم خصي حيوان ذكر، هل تتوقع أن ترتفع مستويات FSH وLH
، أم تنخفض، أم تبقى دون تغيير؟ ولماذا؟

27.3c الشيخوخة والوظيفة الجنسية

من سن الأربعين وحتى الشيخوخة، تصبح الخصيتان أقل استجابة للهرمو
نات المنشطة للغدد التناسلية من الغدة النخامية وتظهر خلايا عددية خلال
ية أقل تدريجيًا. بالتوازي مع ذلك، ينخفض مستوى التستوستيرون، ولكن
بمعدل بطيء يبلغ 1% أو أقل سنويًا. في الشيخوخة، يرتبط انخفاض مس
توى التستوستيرون لدى العديد من الرجال بانخفاض الرغبة الجنسية (الدا
فع الجنسي) وسهولة الإثارة الجنسية، وفقدان كتلة العضلات وكثافة العظا
م، وزيادة خطر الإصابة بهشاشة العظام، وبطء نمو اللحية، وانكماش الأع
ضاء التناسلية الخارجية والحويصلات المنوية. يمكن للسمنة، والإفراط في
تناول الكحول، وبعض الأدوية الموصوفة أن تسرع هذه التغيرات.

ينخفض حجم السائل المنوي، وعدد الحيوانات المنوية، وحركتها، لكن بع
ض الرجال يظلون قادرين على الإنجاب وتكوين الأبناء في سن متقدمة جدًا.
جودة الحيوانات المنوية هي قضية أخرى، مع ذلك. حيوانات منوية الرجال الأكبر سناً

1. فى الانقسام الميتوزى، ينقسم كل كروموسوم مزدوج الشريط إلى شريطين م
فردين، لكن كل خلية ابنة لا تزال تحتوى على 46 كروموسوم)23 زوجًا(. بالم
قابل، يقلل الانقسام الاختزالى عدد الكروموسومات إلى النصف. الخلية الأصلية
ثنائية الصيغة الصبغية)2ن(، مما يعنى أنها تحتوى على 46 كروموسو
م فى 23 زوجًا متماثلًا، فى حين أن الخلايا الابنة أحادية الصيغة ا
لصبغية)ن(، مع 23 كروموسومًا غير مزدوج.

2. فى الانقسام الميتوزى، لا تتغير التركيبة الجينية للكروموسومات. ومع ذ
لك، فى مرحلة مبكرة من الانقسام الاختزالى، تتبادل الكروموسومات الأموم
ية والكروموسومات الأبوية لكل زوج بعض جيناتها فى عملية تسمى التبادل ا
لجينى)crossing-over(، والتى سيتم شرحها لاحقًا.

3. فى الانقسام الميتوزى، تنتج كل خلية أصلية خليتين ابنتين فقط. فى الانق
سام الاختزالى، تنتج أربع خلايا. لذلك، فى الذكر، تتطور أربع حيوانات منوية م
ن كل خلية جرثومية أصلية. الوضع مختلف قليلاً فى الأنثى)انظر القسم 28.3أ(.
لماذا نستخدم عملية معقدة نسبيًا لتكوين الأمشاج؟ لماذا لا نستخدم الان
قسام الميتوزى كما نفعل فى جميع عمليات تكاثر الخلايا الأخرى فى الجسم؟ ا
لجواب هو أن التكاثر الجنسى، بطبيعته، ثنائى الوالدين. إذا كنا سنجمع الأمشاج من وال
دين لإنشاء طفل، يجب أن يكون هناك آلية للحفاظ على عدد الكروموسومات ثابتًا من
جيل إلى جيل. الانقسام الميتوزى سينتج بويضات وحيوانات منوية تحتوى كل منها عل
ى 46 كروموسومًا. إذا تم دمج هذه الأمشاج، فإن الزيجوت والجيل التالى سيكون لديه
م 92 كروموسومًا فى كل خلية، والجيل الذى يليه سيكون لديه 184، وهكذا. لمنع تضا
عف عدد الكروموسومات فى كل جيل، يتم تقليل العدد إلى النصف أثناء
تكوين الأمشاج. لهذا السبب يُطلق على الانقسام الاختزالى أحيانًا اسم "الانقسام الاخ
تزالى الاختزالى".

مراحل الانقسام الاختزالى هى فى الأساس نفسها فى كل من إنتاج الحيوا
نات المنوية والبويضات. باختصار، يتكون من انقسامين خلويين متتاليين ويحد
ث فى المراحل التالية: الطور التمهيدى الأول، الطور الاستوائى الأول، الطور ا
لانفصالى الأول، الطور النهائى الأول، فترة بينية، الطور التمهيدى الثانى، الطور ا
لاستوائى الثانى، الطور الانفصالى الثانى، والطور النهائى الثانى. تم تفصيل هذه
الأحداث فى الشكل 27.13، ولكن دعونا نلاحظ بعض الجوانب الفريد
ة والمهمة للانقسام الاختزالى.

فى الطور التمهيدى الأول، تتجمع الكروموسومات المتماثلة فى أزواج تسمى ر
باعيات - عضو واحد من كل زوج من الأم وعضو من الأب. ثم تتكسر الكروم
وسومات فى عدة أماكن وتتبادل أجزاء من حمضها النووى؛ تُسمى هذه العملية التبادل
الجينى)انظر الخطوتين 2 و3 فى الشكل(. الكروموسومات

التى ينقلها الوالد إلى نسله ليست هى نفسها التى ورثها من والديه. النتيجة هى
توليفات جديدة من الجينات على كل كروموسوم وزيادة التنوع الجينى فى النسل.

بعد التبادل الجينى، تصطف الكروموسومات على خط الوسط فى الخلية فى الط
ور الاستوائى الأول، وتنفصل فى الطور الانفصالى الأول، وتنقسم الخلية إلى اثنتين فى
الطور النهائى الأول. يبدو هذا شبيهًا بالانقسام الميتوزى من الناحية السطحية، لكن
هناك فرقًا مهمًا: لا تنقسم السنتروميرات ولا تنفصل الكروماتيدات عن بعضها فى ا
لطور الانفصالى الأول؛ بل ينفصل كل كروموسوم متماثل عن توأمه. لذلك، فى نهاية
الانقسام الاختزالى الأول، لا يزال كل كروموسوم مزدوج الشريط، لكن كل خلية ابنة تحتو
ى فقط على 23 كروموسومًا - أصبحت أحادية الصيغة الصبغية.

meio 28 = اقل، اقل عددًا

سن اليأس يعنى توقف الحيض وبالتالى لا معنى له فى سياق الوظيفة
التناسلية الذكرية.

قبل المتابعة

أجب أو أكمل ما يلى لاختبار فهمك للقسم السابق:

11. اذكر المصدر العضو المستهدف، وتأثير GnRH.
12. حدد الخلايا المستهدفة وتأثيرات FSH و LH.
13. اشرح كيف تؤثر هرمونات الخصية على إفراز FSH و LH.
14. صف التأثيرات الرئيسية للأندروجينات على الجسم.
15. عرف سن اليأس عند الذكور.

27.4 الحيوانات المنوية والسائل المنوى

النتائج التعليمية المتوقعة

عندما تكمل هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف مراحل الانقسام الاختزالى ومقارنة الانقسام الميوزى بالانقسام الميتوزى
الانقسام الميتوزى؛

ب. وصف تسلسل أنواع الخلايا فى تكوين الحيوانات المنوية، وربطها بمراحل الانقسام الاختزالى؛

ج. وصف دور خلايا سيرتولى فى تكوين الحيوانات المنوية ؛

د. وصف أو رسم وتسمية خلية الحيوان المنوى؛ و

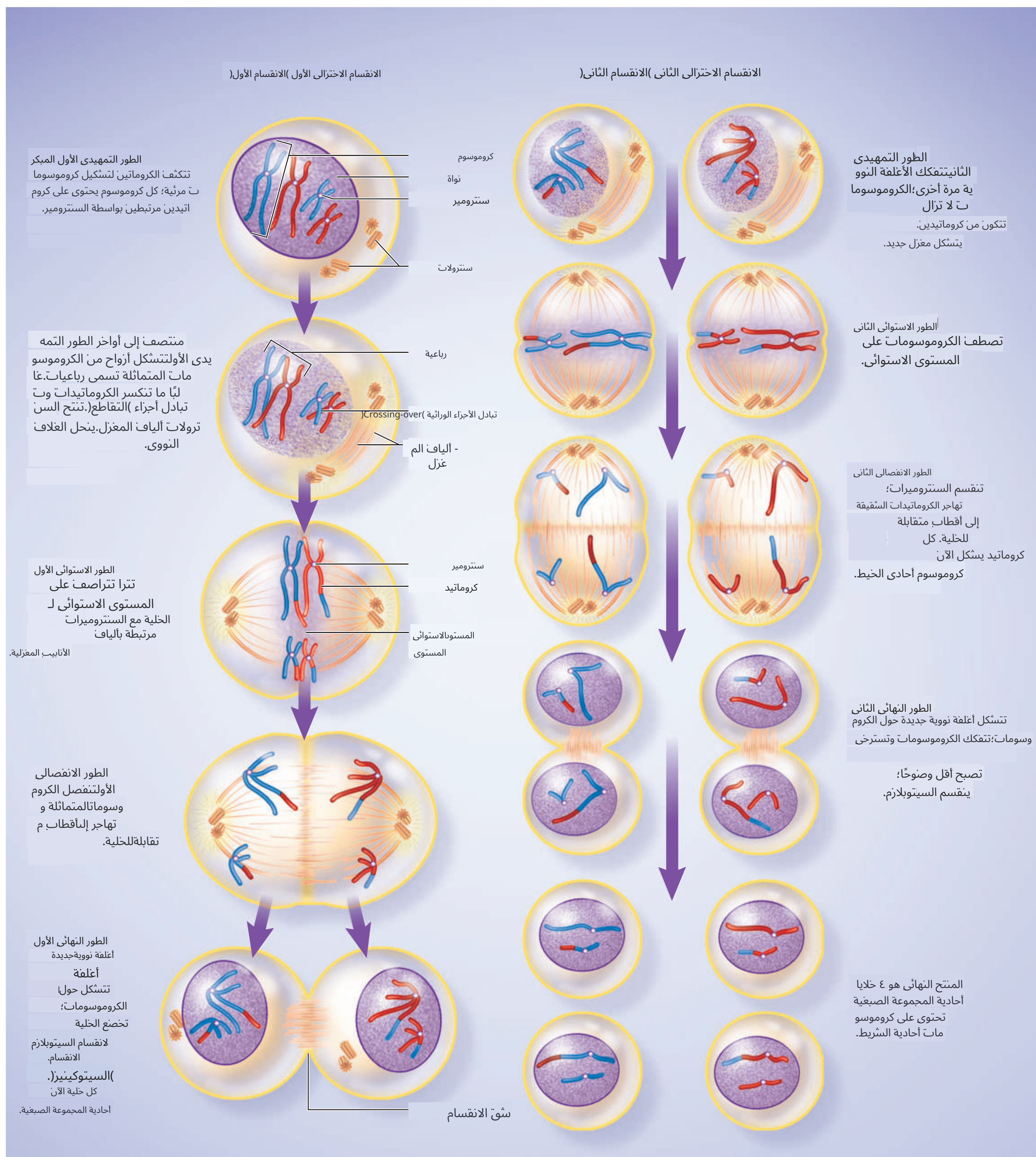
هـ. وصف تركيب السائل المنوى ووظائف مكوناته
.

إنتاج الخلايا الجنسية)الأمشاج(يُسمى التكوين الأمشيجى – أو بشكل أ
كثر تحديدًا، التكوين النطفى للحيوانات المنوية والتكوين البويضى للبو
يضات. يحدث التكوين النطفى فى الأنابيب المنوية ويتضمن ثلاثة أحدا
ث رئيسية:)1(انقسام وإعادة تشكيل خلية جرثومية كبيرة نسبيًا إلى أ
ربع خلايا صغيرة متحركة ذات أسواط؛)2(تقليل عدد الكروموسومات إ
لى النصف؛ و)3(إعادة ترتيب الجينات بحيث يحمل كل كروموسوم م
ن الحيوان المنوى تركيبات جينية جديدة لم تكن موجودة فى كروموسوم
ات الوالدين. هذا يضمن التنوع الجينى فى النسل، ويزداد تأكيده من خلا
ل التوزيع المستقل للكروموسومات فى الحيوانات المنوية المختلفة، و
عشوائية الإخصاب. يتم تحقيق إعادة التركيب الجينى وتقليل عدد الكر
وموسومات من خلال نوع من انقسام الخلايا يسمى الانقسام الاختزالى، ا
لذى ينتج أربع خلايا بنات تتمايز لاحقًا إلى حيوانات منوية.
حيوانات منوية

27.4a الانقسام الاختزالى

فى جميع الكائنات الحية تقريبًا باستثناء البكتيريا، هناك نوعان من انقسام الخلايا: ا
لانقسام الميتوزى والانقسام الاختزالى. الانقسام الميتوزى، الموضح فى القسم 4.3d،
هو الأساس لانقسام البويضة المخصبة وحيدة الخلية، ونمو الجنين، وكل النمو بعد ا
لولادة وإصلاح الأنسجة. هو فى الأساس انقسام خلية مع توزيع للكروموسومات يؤد
ى إلى خليتين ابنتين متطابقتين جينيًا. ويتكون من أربع مراحل: الطور التمهيدى، الط
ور الاستوائى، الطور الانفصالى، والطور النهائى.

قد تجد من المفيد مراجعة الشكل 4.15 بسبب التشابهات والاختلافات المهمة
بين الانقسام الميتوزى والانقسام الاختزالى.



الشكل ٣١.٧٢ الانقسام الاختزالى. للتبسيط، تُظهر الخلية زوجين فقط من الكروموسومات المتماثلة. تبدأ الخلايا البشرية الانقسام الاختزالى بوجود ٣٢ زوجًا.

؟ على الرغم من أننا ننقل نفس الجينات إلى نسلنا كما ورثناها من والدينا، إلا أننا لا ننقل نفس الكروموسومات.
ما العملية فى هذا الشكل التى تفسر هذه الحقيقة؟

عند البلوغ، يرتفع إفراز التستوستيرون، مما يعيد تنشيط الحيوانات المنوية الأولية ويبدأ عملية تكوين الحيوانات المنوية (spermatogenesis). الخطوات الأساسية لتكوين الحيوانات المنوية هى كما يلى، مرقمة لتتطابق مع الشكل 27.14ب.

1 تنقسم الحيوانات المنوية الأولية عن طريق الانقسام الميتوزى. تبقى إحدى الخلايا الابنة من كل انقسام بالقرب من جدار الأنبوب كخلية جذعية تسمى حيوان منوى أولى من النوع A. تعمل حيوانات منوية النوع A كمخزون دائم من الخلايا الجذعية، لذلك يظل الرجال عادة خصبين حتى فى سن الشيخوخة. أما الخلية الابنة الأخرى، المسماة حيوان منوى أولى من النوع B، فتهاجر قليلاً بعيداً عن الجدار فى طريقها لإنتاج الحيوانات المنوية.

2 يتضخم حيوان منوى النوع B ويصبح خلية منوية أولية (primary spermatocyte). بما أن هذه الخلية على وشك الخضوع للانقسام الاختزالى (meiosis) وتصبح مختلفة وراثياً عن باقى خلايا الجسم، يجب حمايتها من الجهاز المناعى. أمام الخلية المنوية الأولية، يتم تفكيك الوصلات المحكمة بين خليتين من خلايا المساعدة (nurse cells)، مما يفتح باباً لحركة الخلية المنوية نحو التجويف (lumen). وخلفها، تتشكل وصلة محكمة جديدة كأنها باب يغلق بين الخلية المنوية والإمداد الدموى فى محيط

الانقسام الاختزالى الثانى يشبه أكثر الانقسام الخيطى — تصطف الكروموسومات مرة أخرى على خط استواء الخلية فى الطور الاستوائى الثانى، وتنقسم السنتروميرات، وينفصل كل كروموسوم إلى كروماتيدين. تُسحب هذه الكروماتيدات إلى أقطاب متقابلة للخلية فى الطور الانفصالى الثانى. فى نهاية الانقسام الاختزالى الثانى، توجد أربع خلايا أحادية المجموعة الصبغية، كل منها تحتوى على ٣٢ كروموسومًا أحادى الشريط. يدمج الإخصاب ٣٢ كروموسومًا من الأب مع ٣٢ كروموسومًا من الأم ويعيد تأسيس العدد الثنائى ٦٤ فى الزيجوت.

٤.٧٢ب إنتاج الحيوانات المنوية

(الشكل 27.14). الآن سنربط الانقسام الاختزالى بعملية تكوين الحيوانات المنوية (تكوين النطاف) الخلايا الجذعية الأولى المخصصة لتصبح حيوانات منوية هى الخلايا الجرثومية البدائية. مثل أولى خلايا الدم، تتكون هذه فى كيس المح (yolk sac)، وهو غشاء مرتبط بالجنين النامى. فى الأسبوع الخامس إلى السادس من التطور، تزحف هذه الخلايا إلى داخل الجنين نفسه وتستوطن التلال التناسلية (gonadal ridges). هنا تتحول إلى خلايا جذعية تسمى الحيوانات المنوية الأولية (spermatogonia). تبقى خاملة خلال فترة الطفولة، مستلقية على طول محيط الأنابيب المنوية بالقرب من الغشاء القاعدى، خارج الحاجز الدموى-الخصوى (BTB).

مقطع عرضى لأنابيب منوية
(Cross section of seminiferous tubules)

تجويف الأنبوب المنوى الأنبوب
الحيوان المنوى
تكوين الحيوانات المنوية النهائية (Spermiogenesis)
الحيوان المنوى
الانقسام الاختزالى الثانى (Meiosis II)
الحيوان المنوى الثانوى
حاجز الدم-الخصية
الانقسام الاختزالى الأول (Meiosis I)
الحيوان المنوى الأولى
خلية الممرضة
نواة
طور ب الخلية المنوية البدائية
الوصلة المحكمة
نوع أ الخلية المنوية البدائية
الغشاء القاعدى
من النبيب المنوى
(ب)

الحيوانات المنوية (جمع)
تكوين الحيوانات المنوية النهائية (Spermiogenesis)
الحيوانات المنوية (n)
الانقسام الاختزالى الثانى (Meiosis II)
الحيوانات المنوية الثانوية (n)
الانقسام الاختزالى الأول (Meiosis I)
الخلية المنوية الأولية (2ن)
نوع ب الخلية المنوية البدائية (2ن)
(أ)
تكوين الحيوانات المنوية

الشكل 27.14 تكوين الحيوانات المنوية. (أ) المراحل الأساسية. (ب) المراحل بالنسبة لخلايا الممرضة. يشير 2n إلى الخلايا ثنائية الصيغة الصبغية وn إلى الخلايا أحادية الصيغة الصبغية. تستمر العملية من أسفل كل شكل إلى الأعلى. راجع النص لشرح خطوات العملية الخمس.

? لماذا يجب على الخلية المنوية الأولية أن تمر عبر الحاجز الدموى الخصوى قبل أن تخضع للانقسام الاختزالى؟

طوال انقساماتها الميوزية، لا تنفصل الخلايا الابنة تمامًا، بل تبقى متصلة ببعضها ا
لبعض بواسطة جسور سيتوبلازمية. نتيجة للانقسام الميوزى، تحصل نصف الخلايا
المنوية الثانوية والسبيرماتيدات على كروموسوم X؛ بينما تحصل النصف الآخر على
كروموسوم Y. ومع ذلك، تحتاج جميع الخلايا الأربع إلى منتجات جينية من كروموسو
م X لضمان تطورها المتزامن. تضمن هذه الجسور السيتوبلازمية إمكانية مشاركة هذ
ه المنتجات الجينية بين جميع الخلايا الأربع.

فى النهاية، تنفصل الحيوانات المنوية الناضجة عن بعضها البعض وعن خلايا الممر
ضة — وهو حدث يسمى الإطلاق المنوى)السبرميشن(. تُغسل الحيوانات ا
لمنوية المحررة الآن عبر الأنابيب بواسطة تدفق بطيء للسائل، قد يساعد فيه تقلصات صغ
فة للأنابيب. ينتج الذكر الشاب السليم حوالى 300,000 حيوان منوى فى الدقيقة، أو 400 م
ليون فى اليوم.
تحدث عملية تكوين الحيوانات المنوية)السبيرماتوجينيسيس(على شكل دورات.
فى نقطة معينة من أى أنبوب، تبدأ دفعة جديدة من نوع B من الخلايا المنوية فى تكوي
ن الحيوانات المنوية كل حوالى 16 يومًا. تستغرق هذه الدفعة حوالى 64 يومًا لتصبح ح
يوانات منوية ناضجة، لذا يحتوى جزء معين من الأنبوب على حوالى خمس دفعات فى و
قت واحد، تتبع بعضها البعض فى مراحل مختلفة من التطور. عند الفحص المجهرى لأ
نسجة الخصية، قد تظهر بعض الأنابيب

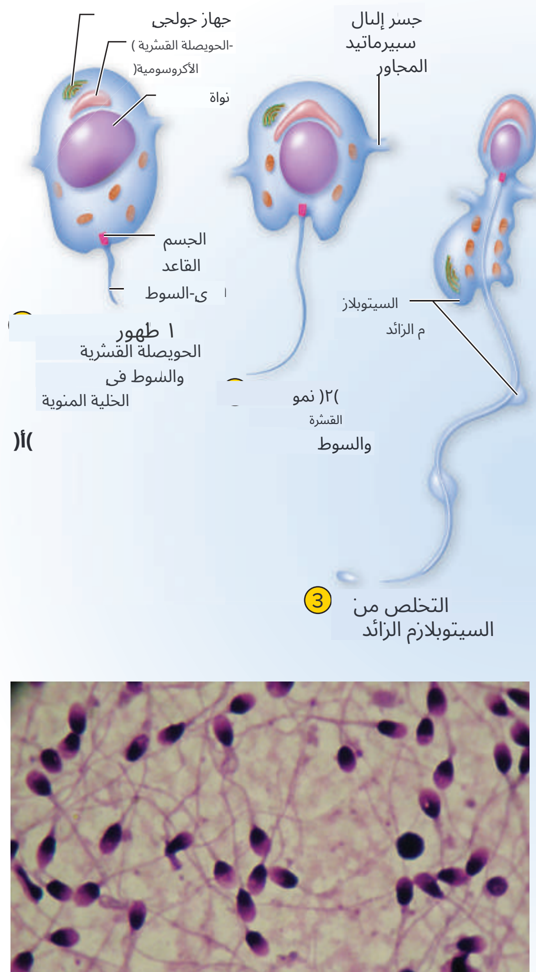
الأنبوب. تتحرك الخلية المنوية إلى الأمام، مثل رائد فضاء يمر عبر باب اله
واء المزدوج لسفينة فضاء، وهى الآن محمية بواسطة إغلاق الحاجز الدموى
الخصوى خلفها.

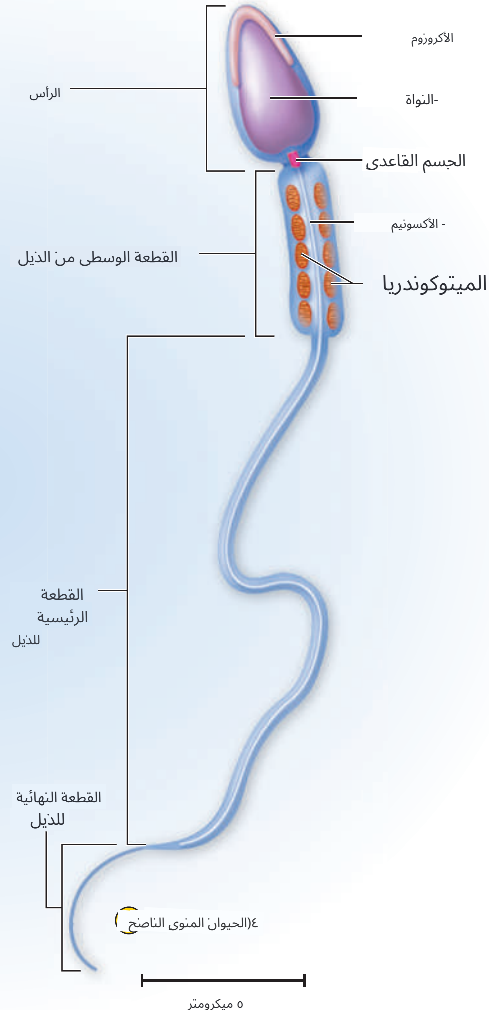
3 الخلية المنوية الأولية، المعزولة الآن بأمان من الأجسام المضادة المحمولة ف
ى الدم، تخضع للانقسام الاختزالى الأول)الانقسام الميوزى الأول(، مما يؤدى إلى تكوين خ
ليتين منويتين ثانويتين متساويتين فى الحجم، أحاديتين الصيغة الصبغية وفر
يدتين جينيًا.

4 كل خلية منوية ثانوية تخضع للانقسام الاختزالى الثانى)الانقسام الميوزى الثانى(، و
تنقسم إلى خليتين منويتين صغيرتين)سبيرماتيدات(— بمجموع أربع سبيرما
تيدات لكل خلية منوية أولية.

5 السبيرماتيدة لا تنقسم أكثر، لكنها تخضع لتحول يسمى التكوين المنوى النهائى)السبرميوجينيسيس(، حيث تتما
يز إلى حيوان منوى واحد)الشكل 27.15(. تنمو للسبيرماتيدة ذيل)السوط(وتتخلص من معظ
م السيتوبلازم، مما يجعل الحيوان المنوى خفيف الوزن وقادرًا على الحركة الذاتية.
مع ذلك، لن يتحرك الحيوان المنوى بقوته الخاصة حتى القذف.

كل مرحلة من هذه العملية تقترب قليلاً من التجويف الداخلى)اللمعة(مقارنة بالمراحل السابقة. المراحل الموجودة على الجان
ب اللمعى من الحاجز الدموى-الخصوى)BTB(مرتبطة بخلايا الممرضة بواسطة وصلات خلوية وتُحاط بأذرع خلايا الممرضة.





الشكل 27.15 تكوين الحيوانات المنوية وبنية الحيوان المنوى.)أ(مراحل تكوين الحيوانات المنوية، مع بنية الحيوان المنوى الناضج فى المرحلة 4.)ب(صورة مجهر ضوئى للحيوان المنوى البشرى)1000×(.

ب: اليسيا غونزاليس / صورة من الامى ستوك

27.4د السائل المنوى

يقذف القذف النموذجى من 2 إلى 5 مل من السائل المنوى الأبيض اللزج، أ[30]
و السائل المنوى. معظم هذا هو البلازما المنوية، وهى مزيج من إفرازات الغد
د التى تأتى بشكل رئيسى من الحويصلات المنوية)65%-70%(، البروستاتا)25%-3
0%(، وكمية ضئيلة من الغدد البصلية الإحليلية. فقط 2% إلى 5% من السائل المنوى ى
تكون من خلايا الحيوانات المنوية. يخرج معظم الحيوانات المنوية فى الدفعتين الأول
ى أو الثانية من السائل المنوى. عادةً ما يحتوى السائل المنوى على عدد حيوانات منو
ية يتراوح بين 50 إلى 120 مليون حيوان منوى لكل مل. عدد الحيوانات الم
نوية أقل من 20 إلى 25 مليون حيوان منوى لكل مل يرتبط عادة بالعقم)الخصوبة الم
نخفضة(، أى عدم القدرة على تخصيب البويضة)انظر الجدول 27.3(.

يسرد الجدول 27.2 المكونات الرئيسية للسائل المنوى مع مصادرها الغ
دية ووظائفها. هذه ليست قائمة شاملة؛ فهناك مكونات أخرى لا تزال وظائفها غير معرو
فة ولم تُدرج فى الجدول.
خاصية معروفة للسائل المنوى هى لزوجته، وهى تكيف يعزز التخصيب. تنشأ هذه ا
للزوجة عندما ينشط إنزيم التخثر من البروستاتا البروسمينوجلين، محولاً إياه إلى بروتين
لزج يشبه الفبرين يُسمى السمينوجلين. هذه العملية مشابهة لتخثر الدم.
يقيد السمينوجلين الحيوانات المنوية، ويلتصق بجدران المهبل الداخلى و
عنق الرحم، ويضمن ألا يتسرب السائل المنوى ببساطة من المهبل. قد يعزز أ
يضًا امتصاص جلطات السائل المنوى المحملة بالحيوانات المنوية إلى الرحم. بع
د 20 إلى 30 دقيقة من القذف، يقوم البروتياز السيرينى فى سائل البروستاتا بت
فكيك السمينوجلين ويحول السائل المنوى إلى سائل. يُعرف البروتياز السيرينى
أيضًا سريريًا بمستضد البروستاتا النوعى)PSA(؛ ومستوى PSA المرتفع فى الد
م هو مؤشر محتمل على سرطان البروستاتا)انظر التعمق 27.2(.

الفركتوز والسترات هما أهم عنصرين غذائيين فى السائل المنوى، ى
تم استقلابهما بواسطة ميتوكوندريا الحيوانات المنوية لتوليد ATP لحركة الأسواط. كما أن
الكالسيوم ضرورى لضربات الأسواط.

تبدو فارغة لأنه لم يكن هناك حيوانات منوية ذات ذيل فى تلك اللحظة عند
ما تم أخذ عينة من النسيج. بسبب هذه المجموعات المتداخلة، تتقدم عم
لية تكوين الحيوانات المنوية على طول الأنابيب فى موجات تكوينية.

27.4ح الحيوان المنوى

الحيوان المنوى هو مثال بارز على وحدة الشكل والوظيفة - مُشكل بواسطة التطور ليكو
ن خفيف الوزن، انسيابى، قادر على الحركة، وفعال فى توصيل حمولة الـ DNA الخاصة
به. يتكون من جزأين: رأس على شكل كمثرى وذيل طويل)الشكل 27.15، المرحلة 4(. ا
لرأس، بطول حوالى 4 إلى 5 ميكرومتر وعرض 3 ميكرومتر فى أوسع جزء، يحتوى على ثلا
ث هياكل: نواة، أكروسوم، وجسم قاعدى للسوط. الأهم من هذه هو النوا
ة التى تملأ معظم الرأس وتحتوى على مجموعة أحادية العدد من الكروموسومات المك
ثفة وغير النشطة وراثياً. يتكثف جهاز جولجى فى الخلية المنوية لتشكيل الأكروسوم، و
هو حزمة من الإنزيمات على شكل غطاء رقيق يغطى نصف النواة العلوى.

تُستخدم هذه الإنزيمات لاحقًا لاختراق البويضة وحواجزها إذا نجح الحيوان المنوى. يقع
الجسم القاعدى لسوط الذيل فى تجويف عند الطرف القاعدى للنواة. هذا فى الأساس
سنتريول منفرد محاط بمركز خلية، مثل سنتريولات الخلايا الأخرى. يلعب دورًا مهمًا
فى الإخصاب، كما هو موضح فى الفصل التالى. ينقسم الذيل إلى ثلاثة أجزاء تسمى ا
لقطعة الوسطى، القطعة الرئيسية، والقطعة النهائية. القطعة الوسطى، وهى أسطوانة
بطول حوالى

5 إلى 9 ميكرومتر وعرض نصف عرض الرأس، هى الجزء الأكثر سمكًا. تحتوى على الع
ديد من الميتوكوندريا الكبيرة التى تلتف بإحكام حول المحور المركزى للسوط. تنتج ه
ذه الميتوكوندريا الـ ATP اللازم لضربات الذيل عندما يهاجر الحيوان المنوى عبر الجها
ز التناسلى الأنثوى. القطعة الرئيسية، بطول 40 إلى 45 ميكرومتر، تشكل معظم الذيل
وتتكون من المحور المركزى محاطًا بغلاف من الألياف الداعمة. القطعة ال
نهائية، بطول 4 إلى 5 ميكرومتر، تتكون فقط من المحور المركزى وهى أضيق جزء ف
ى الحيوان المنوى.

acro = القمة، الذروة؛ 29 بعض الجسم

البذرة = السائل المنوى

الجدول 27.2 تركيب السائل المنوى

المصدر	الجزء حجم السائل المنوى	المكونات	الوظائف
الخصيتان	٢٪ إلى ٥٪	الحيوانات المنوية)٥٠-١٢٠ مليون/مل(	إخصاب البويضة
الأكياس المنوية	٥٦٪ إلى ٧٥٪	الفركتوز، السترات، حمض الأسكوربيك	المغذيات للحيوانات المنوية
		البروستاجلاندينات	تحفيز التمعج فى القناة الناقلة للحيوانات المنوية؛ تثبيط رفض الحيوانات المنوية بواسطة جهاز المناعة لدى الأنثى
		بروسمينوجلين	بروتين تخثر يشبه الفيبرينوجين؛ يسبب تجلط السائل المنوى
		الكالسيوم	ينشط حركة الحيوانات المنوية؛ يحفز إطلاق الإنزيمات من القُبّة)الأكروزوم(لاختراق البويضة
البروستاتا	٢٥٪ إلى ٣٠٪	إنزيم التخثر	يؤثر على البروسمينوجلين، يسبب تجلط السائل المنوى
		سيرين بروتياز	يذيب السائل المنوى المتجلط بعد تأخير
		السترات	مغذٍ للحيوانات المنوية
		محاليل البيكربونات والفوسفات	يعادل حموضة الإحليل والمهبل
		الزنك	يثبت الكروماتين فى الحيوانات المنوية؛ نقصه يسبب هشاشة الحيوانات المنوية
الغدد البصلية الإحليلية	<1%	مخاط	يزلق الإحليل؛ يشكل قناة منخفضة اللزوجة للحيوانات المنوية الهجرة عبر المهبل وعنق الرحم
الغدد البصلية الإحليلية		محاليل عازلة	يعادل حموضة الإحليل والمهبل

يتعرف على الحيوانات المنوية كجسم غريب. البروستاجلاندينات من ا لحويصلات المنوية تثبط هذا الاستجابة المناعية وتقلل من موت الح يوانات المنوية.)سميت البروستاجلاندينات بهذا الاسم لأنها اكتشفت أولاً فى سائل البروستاتا لدى الثيران.(كما تحفز البروستاجلاندينات ال تمعج فى القناة الناقلة)القناة المنوية(، مما يدفع الحيوانات المنوية ن حو القضيب.

يجب توافر شرطين لحركة الحيوانات المنوية: ارتفاع الرقم الهيدروج ينى ومصدر للطاقة.الرقم الهيدروجينى للمهبل حوالى 3.5 إلى 4.0، وقنو ات الحيوانات المنوية الذكرية أيضًا حمضية جدًا.تبقى الحيوانات المنوية ساكنة عند هذه القيم المنخفضة للرقم الهيدروجينى.ولكن مع قيام سائ ل البروستاتا بتحييد حموضة المهبل والسائل المنوى، يرتفع الرقم الهيد روجينى إلى حوالى 7.5 وتصبح الحيوانات المنوية نشطة عند القذف.الح يوانات المنوية المنشطة الآن تلوح بذيلها وتزحف على مخاط المهبل وا لرحم.

قبل أن تتابع

أجب أو أكمل ما يلى لاختبار فهمك للقسم السابق:

16. اذكر مراحل تكوين الحيوانات المنوية من الأرومات المنوية إلى ا لحيوانات المنوية الناضجة.كيف تختلف فى عدد الكروموسومات ل كل خلية وعدد الكروماتيدات لكل كروموسوم؟

17. وصف الجزأين الرئيسيين للحيوان المنوى وذكر العضيات أو مكونا ت الهيكل الخلوى الموجودة فى كل منهما.

18. ذكر المساهمات الرئيسية للحويصلات المنوية والبروستاتا فى ا لسائل المنوى، وبيان وظائف هذه المكونات.

27.5 الاستجابة الجنسية لدى الذكور

نتائج التعلم المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف إمداد الدم والأعصاب إلى القضيب؛ و

ب. اشرح كيف تتحكم هذه فى الانتصاب والقذف.

الجماع الجنسى يُعرف أيضًا باسم الجماع، الإيلاج، [31] أو التزاوج. [32] كانت فسيولوجيا الجماع الجنسى مجالًا غير مستكشف قبل خمسينيات ا لقرن العشرين بسبب المواقف القمعية تجاه الموضوع. نشر عالم النـ فس البريطانى هافلوك إليس العمل الرائد المكون من ستة مجلدات دراسات فى علم نفس الجنس)1897–1910(، لكنه تم حظره لعدة سنوات لكونه مثيرًا للجدل جدًا بالنسبة لأذواق العصر الفيكتورى. فى خمسينيات القرن العشرين، قام ويليام ماسترز وفيرجينيا جونسون بإ طلاق أول الدراسات الفسيولوجية لاستجابة الجنس فى المختبر بشك ل جرىء. فى عام 1966، نشروا كتاب *الاستجابة الجنسية البشرية*، ال ذى تضمن قياسات وملاحظات على أكثر من 10,000 فعل جنسى م ن قبل ما يقرب من 700 رجل وامرأة متطوعين. ثم وجه ماسترز وجو نسون اهتمامهما إلى اضطرابات الوظيفة الجنسية وابتكروا العلاج الح ديث لاضطرابات الوظيفة الجنسية. قسموا الجماع إلى

[31] *الجماع* = أن تتقارب

[32] *التزاوج* = الربط، الترابط

نزيمات من القُبّة)الأكروزوم(عندما يخترق الحيوان المنوى البويضة. الزنك فى السائل المنوى يثبت الكروماتين فى رأس الحيوان المنوى؛ نقص الزنك فى ا لنظام الغذائى يمكن أن يؤدى إلى ضعف الحيوانات المنوية والعقم.

تواجه الحيوانات المنوية ظروفًا معادية بمجرد خروجها من أمان قنوات الحيوانات المنوية.يبقى البول المتبقى يجعل الإحليل الذكرى حمضيًا، والمهبل يحتوى على طبقة من حمض اللاكتيك لحمايته من فرط نمو الميكروبات.تفرز غدد البروستاتا والغدد البصلية الإحليلية مخ ازن بيكربونات وفوسفات لتحييد هذا الحموضة وحماية الحيوانات الم نوية.ومع ذلك، هناك خطر آخر يهدد الحيوانات المنوية وهو هجوم جها ز المناعة الأنثوى، الذى



نظرة أعمق 27.3

التطبيق السريرى

تأثيرات التلوث على التكاثر

فى العقود الأخيرة، كان هناك اهتمام كبير داخل المجتمع العلمى ووسائل الإعلام ا لشعبية بشأن المواد الكيميائية المعيقة للغدد الصماء)EDCs(— وهى عوامل بى ئية تتداخل مع هرموناتنا الطبيعية وقد تعطل التكاثر، والتطور، والتوازن الداخلى ل لجسم.

توجد المواد الكيميائية المعيقة للغدد الصماء المثبتة أو المشتبه بها فى المذيبات الص ناعية ومواد التشحيم، والمبيدات الحشرية، والبلاستيك)بما فى ذلك بطانة البلاستيك لعل ب الطعام(، والأدوية الموصوفة والأجهزة الطبية، وحتى تركيبات حليب الصويا للأطفال. نتعرض للمواد الكيميائية المعيقة للغدد الصماء من خلال الطعام، ومياه الشرب، والهواء والتربة الملوثة، والمواد الكيميائية المنزلية، وفى بعض المهن مثل الزراعة والتصنيع التى تستخدم هذه المواد الكيميائية. قد تؤثر بعض هذه المواد ليس فق ط على الشخص المعرض لها، بل أيضًا على نسل ذلك الشخص من خلال تأثيرات مثيلة الحمض النووى والتأثيرات فوق الجينية)انظر القسم 4.4h(. قد يتأثر أحفادك وراثيًا بتعرضك الكيميائى اليوم.

تعمل المواد الكيميائية المعيقة للغدد الصماء بعدة آليات. يمكن لها أو لمستق لباتها أن تحاكى تأثيرات الإستروجين من خلال تنشيط مستقبلاته؛ أو تعارض تأثيرا ت الأندروجينات؛ أو تغير التعبير الجينى؛ أو تعطل حلقات التغذية الراجعة الإيجابي ة والسلبية التى تنظم إفراز الجسم لهرموناته الخاصة من الإستروجين والأندروجينا ت.

يُشتبه فى أن المواد الكيميائية المعيقة للغدد الصماء، أو تم ربطها على الأقل بشكل مبدئى، بمجموعة واسعة من الشذوذات التناسلية — فى الذكور، مثل الخ صية المعلقة، وفتحة الإحليل السفلى)وهى فتحة الإحليل على الجانب السفلى م ن القضيب بدلاً من الطرف(، وانخفاض عدد الحيوانات المنوية وقلة حركتها، وسر طان الخصية؛ وفى الإناث، مثل تطور الثدى المبكر، وانقطاع الطمث المبكر، وسر طان الثدى، والأورام الليفية الرحمية، والانتباذ البطانى الرحمى، واضطرابات الإبا ضة والرضاعة.

لكن فى العديد من هذه الحالات، تكون البيانات متناقضة أو ضعيفة أو محل نزاع. الأدلة، رغم ما تحمله من إزعاج، غالبًا ما تكون غامضة وغير مباشرة. من الصع ب للغاية إثبات وجود صلة بين اضطراب تناسلى معين ومادة مشتبه بها من الموا د المسببة لاضطراب الغدد الصماء)EDC(. أولاً، لا يمكننا إجراء تجارب على البشر فى هذا الشأن، وغالبًا ما لا تترجم نتائج التجارب على الحيوانات إلى البشر. ثانيًا، قد تتأخر التأثيرات لسنوات أو عقود أو ربما حتى لأجيال؛ وهناك العديد من المتغ يرات فى حياة الإنسان التى تخفى أثر السببية — التعرض قبل الولادة أو فى مرح لة الطفولة دون ظهور تأثيرات حتى مرحلة البلوغ؛ التغيرات فى المهنة، مكان الإقا مة، والتعرض البيئى؛ الهجرة والتبنى الدولى؛ والتعرض لمخاليط معقدة من المواد الكيميائية البيئية — مما يجعل من المستحيل تحديد سبب واحد أو معرفة كيفية تفاعلها لإحداث تأثيرات لا يمكن لأى منها أن يسببها بمفرده. على الرغم من هذه ا لصعوبات، تشكل المواد المسببة لاضطراب الغدد الصماء مشكلة ملحة لا تزال ق يد التحقيق المستمر.

الاستجابة الجنسية وتجعل من الصعب الأداء عندما يكون الشخص
قلقًا أو متوترًا أو مشغولًا بأفكار أخرى.
أوضح مظاهر الإثارة الجنسية لدى الذكور هو
انتصاب القضيب، مما يجعل دخول المهبل ممكنًا.
الانتصاب هو رد فعل تلقائي يتم بوساطة ألياف الأعصاب اللاودية ال
تي تسير بشكل رئيسي إلى جانب الشرايين العميقة وشرايين الهيليك
ينية في القضيب. تقوم هذه الألياف بتحفيز إفراز أكسيد النيتريك)N
O(، مما يؤدي إلى استرخاء الشرايين العميقة والمساحا
ت الكهفية)انظر التعمق 27.4(. لا يزال الجدل قائمًا حول ما إذا كان
هذا كافيًا للتسبب في الانتصاب، أو ما إذا كان من الضروري أيضًا حج
ب تدفق الدم الخارج من القضيب. وفقًا لإحدى الفرضيات، عندما تم
تلئ المساحات الكهفية القريبة من الشرايين العميقة بالدم، فإنها تض
غط على المساحات الأقرب إلى محيط النسيج الانتصابي. هذه هي ال
مناطق التي يخرج منها الدم من الأنسجة الانتصابية، لذا فإن ضغط ال
مساحات المحيطية يساعد في احتجاز الدم داخل القضيب. ويُسهل
ضغطها حقيقة أن كل جسم كهفي ملفوف بغشاء التونيكا ألبوجينيا، ا
لذي يغطي النسيج الانتصابي مثل كم ليفي ضيق ويساهم في توتره و
صلابته. بالإضافة إلى ذلك، تساعد عضلات البلبوسبونجيوس والإسك
يوكهفي في الانتصاب عن طريق ضغط جذر القضيب ودفع الدم إلى ا
لأمام داخل الجذع.
مع تمدد الجسم الكهفي، يصبح القضيب متضخمًا
صلبًا ومرتفعًا بزاوية مناسبة لدخول المهبل.
التمدد الطولي للقضيب يسحب القلفة، إذا كانت موجودة، مكشوفًا ا
لحشفة. بمجرد تحقيق الإدخال)الدخول(، فإن الأحاسيس اللمسية وا
لضغط الناتجة عن تدليك المهبل للقضيب تزيد من تعزيز رد فعل الا
نتصاب.
لا يحتوي الجسم الإسفنجي على شريان مركزي ولا على الغلالة ال
بيضاء)tunica albuginea(. ينتفخ ويصبح أكثر وضوحًا كحدبة على
شكل حبل على السطح البطني للقضيب، لكنه لا ينتفخ ويتصلب بن
فس درجة انتفاخ وتجمد الجسمين الكهفيين. يساعد انتفاخه وتوسعه
الخارجي في إبقاء الإحليل مفتوحًا من خلال معارضة القوى الضاغطة
للجسمين الكهفيين المنتفخين، مما يمنع انسداد السائل المنوي. لا
يقتصر الاحتقان الوعائي على القضيب فقط؛ إذ يمكن أن تكبر الخصى
تان بنسبة تصل إلى 50% أثناء الإثارة.
في مرحلة الذروة)plateau phase(، تبقى متغيرات مثل معدل التنفس،
معدل ضربات القلب، وضغط الدم عند مستوى مرتفع أو ترتفع
بشكل طفيف لعدة ثوانٍ إلى عدة دقائق قبل النشوة الجنسية.
قد تتميز هذه المرحلة بزيادة الاحتقان الوعائي وتوتر العضلات)myotonia(.

▶▶▶ طبق ما تعرفه

لماذا من المهم ألا يصبح الجسم الإسفنجي
منتفخًا وصلبًا مثل الجسمين الكهفيين؟

27.5ح النشوة والقذف

النشوة)orgasm(، أو الذروة)climax(، هي رد فعل قصير لكنه مكثف يستمر
من 3 إلى 15 ثانية وعادة ما يتميز بإفراز السائل المنوي.
يزداد معدل ضربات القلب ليصل إلى 180 نبضة في الدقيقة، ويرتفع
ضغط الدم بشكل متناسب، ويصبح معدل التنفس عاليًا يصل إلى 4
0 نفسًا في الدقيقة. من منظور الإنجاب، الجانب الأكثر أهمية في الن
شوة الجنسية لدى الذكور هو القذف)ejaculation(للسائل المنوي دا
خل المهبل.

[34] النشوة)orgasm(= الانتفاخ
[35] e= ex= خارج؛ jacul= رمي

أربع مراحل معروفة، أطلقوا عليها *الإثارة، والذروة، النشوة، و الانفراج*.
تم تنظيم النقاش التالي حول هذا النموذج، على الرغم من أن سلطا
ت أخرى قد عدلته أو فضلت نماذج بديلة.

27.5a الأسس التشريحية

لفهم الوظيفة الجنسية للذكر، يجب أن نولي اهتمامًا أكبر للدورة الدمو
ية وتغذية الأعصاب للقضيب.
كل شريان الحرقفي الداخلي يعطي منشأ لشريان العانة الداخلي
)شريان القضيب(، الذي يدخل جذر القضيب وينقسم إلى فرعين. أحد
الفروع، وهو الشريان الظهري، يسير ظهريًا على طول القضيب تحت
الجلد بقليل)انظر الشكل 27.11(، ويوفر الدم للجلد، اللفافة، والهيكل
الإسفنجي. الفرع الآخر، وهو الشريان العميق، يمر عبر لب الجسم ال
كهفي ويعطي فروعًا أصغر تُسمى الشرايين الحلزونية 33، التي تختر
ق الحواجز وتفرغ في الفراغات الكهفية. عندما يكون القضيب في حا
لة ارتخاء، يأتي معظم إمداده الدموي من الشرايين الظهرية. عندما ي
توسع الشريان العميق، تمتلئ الفراغات الكهفية بالدم ويصبح القضي
ب منتصبًا. هناك العديد من التشابكات بين الشرايين الظهرية والعم
يقة، لذا لا يُعتبر أي منهما المصدر الحصري للدم لأي نسيج انتصابي.
وريد ظهري عميق متوسط يصرف الدم من القضيب. يمر بين الشرا
يين الظهرية تحت اللفافة العميقة ويفرغ في شبكة من أوردة البروس
تاتا.

القضيب مزود بغزارة بالألياف العصبية الحسية والحركية. يحتوي
الحشفة والقلفة على وفرة من مستقبلات اللمس والضغط ودرجة الح
رارة، خاصة على الرباط الحلمي والحافة القريبة من الحشفة. تنتقل هذ
ه المستقبلات عبر زوج من الأعصاب الظهرية البارزة إلى الأعصاب ال
عانية الداخلية، ثم عبر الضفيرة العجزية إلى الفقرات S2 إلى S4 من ا
لحبل الشوكي. كما أن الألياف الحسية في الجذع والصفن والعجان وأم
اكن أخرى مهمة للغاية للتحفيز الجنسي.

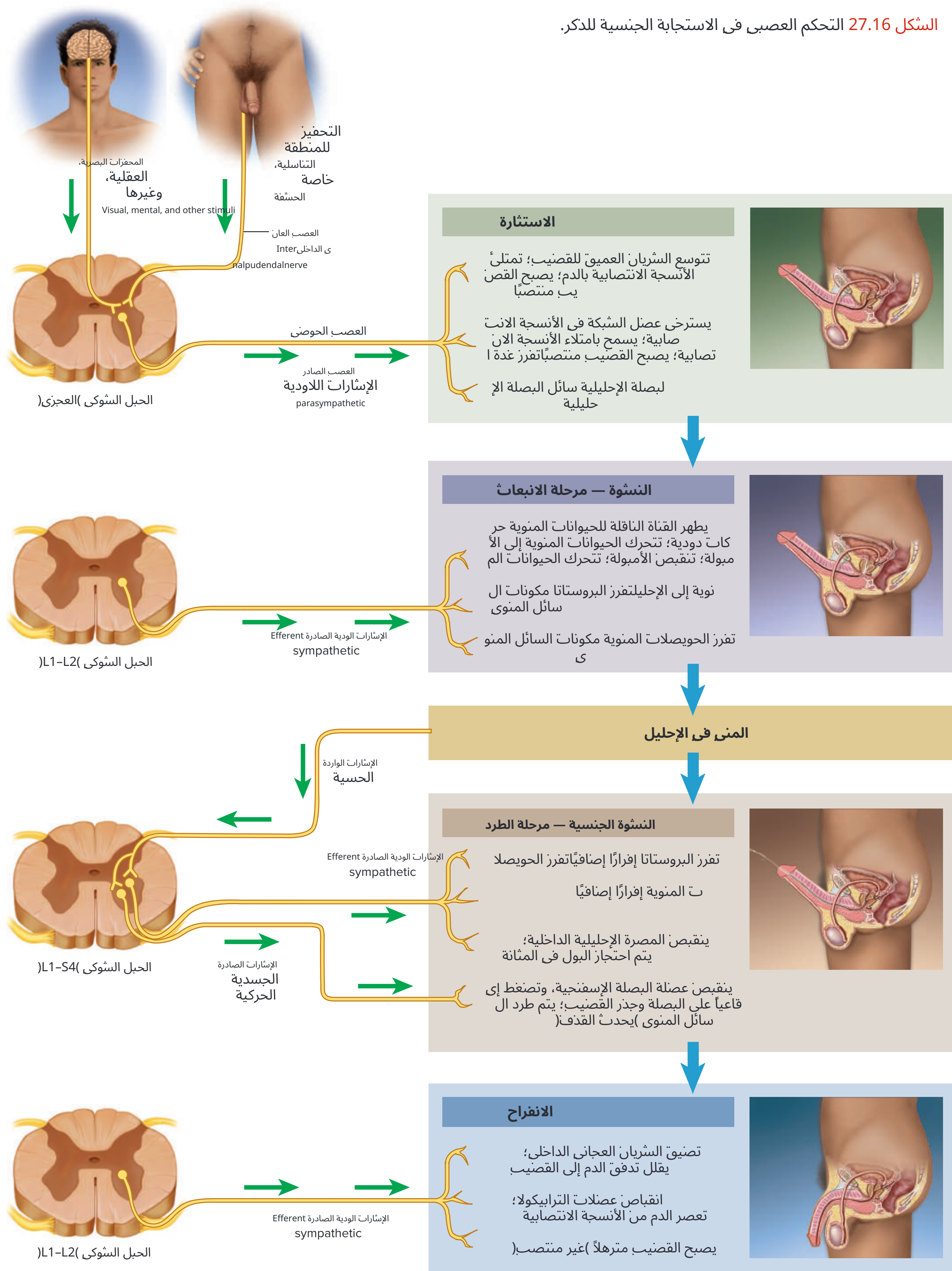
تحمل كل من الألياف الحركية الذاتية والجسدية النبضات من مرا
كز التكامل في الحبل الشوكي إلى القضيب وأعضاء الحوض الأخرى.
تنشأ الألياف الودية من المستويات T12 إلى L2، تمر عبر الضفائر تح
ت الحوضية والحوضية، وتُعصّب شرايين القضيب، والعضلات الش
بكية، والقنوات المنوية، والغدد الملحقة. تقوم بتوسيع شرايين القضي
ب ويمكنها تحفيز الانتصاب حتى عند تلف منطقة العجز في الحبل ا
لشوكي. كما تبدأ الانتصاب استجابةً للإدخال الحسي الخاص والأفكار ا
لجنسية.
تمتد الألياف اللاودية من الفقرات S2 إلى S4 من الحبل الشوكي
عبر الأعصاب العانية إلى شرايين القضيب.
هم يشاركون في قوس انعكاسي ذاتي التحكم يسبب الانتصاب استج
ابةً للتحفيز المباشر للقضيب ومنطقة العجان.

27.5ب الإثارة والمرحلة المستقرة

تتميز مرحلة الإثارة بـ احتقان الأوعية الدموية)تورم الأعضاء التناسلية
بالدم(؛ التوتر العضلي)توتر العضلات(؛ وزيادة في معدل ضربات الق
لب، ضغط الدم، والتهوية الرئوية)الشكل 27.16(. تفرز الغدد البصلية
الإحليلية سائلًا صافياً ما قبل القذف خلال هذه المرحلة. يمكن أن ت
بدأ مرحلة الإثارة بمجموعة واسعة من المحفزات الجنسية—المناظر، ا
لأصوات، الروائح، اللمس—وأيضاً من خلال الأحلام أو الأفكار. وعلى ا
لعكس من ذلك، يمكن للعواطف أن تثبط

[33] *helic* = لفّة، حلزون

الشكل 27.16 التحكم العصبى فى الاستجابة الجنسية للذكر.



التعمق 27.4

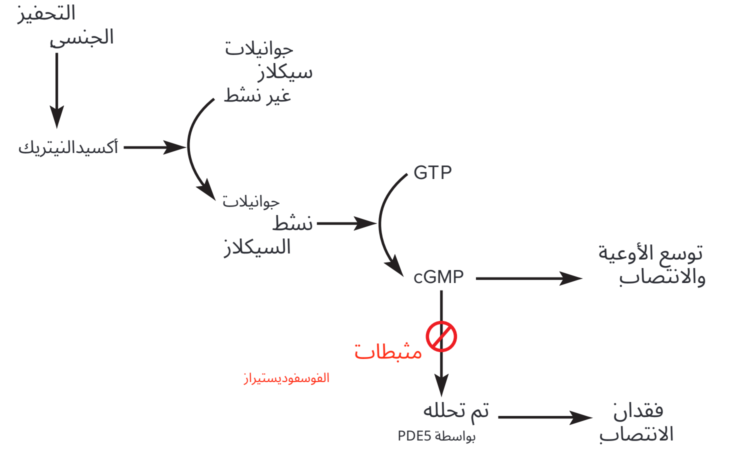


التطبيق السريرى

علاج ضعف الانتصاب

من بين أكثر الأدوية ربحية التى تم تطويرها فى التسعينيات كانت العلاجات الشه
يرة لضعف الانتصاب: السيلدينافيل)فياغرا(، الفاردينافيل)ليفيترا(، والتادالافيل)
سياليس(. كان أساس تطويرها اكتشافًا يبدو غير مرتبط: دور أكسيد النيتريك فى إ
شارة الخلايا. عندما يحفز التحفيز الجنسى إفراز NO، يقوم NO بتنشيط إنزيم غوان
يلات السيكلاز. ينتج غوانيلات السيكلاز أحادى فوسفات الجوانوزين الحلقى)cGM
P(. ثم يقوم cGMP بإرخاء العضلات الملساء للشرايين العميقة
والمساحات الكهفية فى الجسم الكهفى، مما يزيد من تدفق الدم إلى هذه الأنسجة
الانتصابية ويؤدى إلى حدوث الانتصاب)الشكل 27.17(.

يختفى الانتصاب عندما يتم تكسير cGMP بواسطة الإنزيم فوسفوديستيراز ال
نوع 5)PDE5(. المشكلة لدى العديد من الرجال وشركائهم هى أنه يختفى بسرعة
كبيرة، والحل هو منع تحلل cGMP بهذه السرعة. الأدوية المذكورة تنتمى إلى عائلة
تسمى مثبطات الفوسفوديستيراز. من خلال إبطاء عمل PDE5، فإنها تطيل عمر
cGMP ومدة الانتصاب.



الشكل 27.17 تأثير الفياجرا وغيرها من
مثبطات الفوسفوديستيراز.

الإحساسات بالنشوة الجنسية دون القذف، ويحدث القذف أحيانًا مع إ
حساس قليل أو بدون إحساس بالنشوة الجنسية.

دقة 27.5d

فور انتهاء النشوة الجنسية تأتى مرحلة الانفراج.
إفراز الجهاز العصبى الودى يضيّق الشريان العانى الداخلى ويقلل تدف
ق الدم إلى القضيب.
كما يسبب انقباض عضلات التربيقولا، التى تضغط الدم من الأنسجة
الانتصابية. قد يبقى القضيب نصف منتصب لفترة كافية لاستمرار ا
لجماع، وهو أمر قد يكون مهمًا لتحقيق المرأة للنشوة، ولكن تدريجيًا
يخضع القضيب لمرحلة الانكماش — حيث يصبح ناعمًا ومرنًا مرة أ
خرى. كما أن مرحلة الانفراج هى وقت تعود فيه وظائف القلب والجها
ز التنفسى إلى وضعها الطبيعى. كثير من الناس يتعرقون خلال مرحلة
الانفراج. عند الرجال، تتبع مرحلة الانفراج فترة عدم الاستجابة ، التى
تستمر من 10 دقائق إلى عدة ساعات، حيث يكون من المستحيل عا
دةً تحقيق انتصاب ونشوة أخرى.

هناك العديد من أوجه التشابه وبعض الاختلافات المهمة فى الا
ستجابة الجنسية بين الذكور والإناث. يتم وصف دورة الاستجابة الأنثو
ية فى القسم 28.4.
اثنان من أكثر المخاوف شيوعًا المتعلقة بالجنس هما الأمراض ا
لمنقولة جنسيًا)STDs(ووسائل منع الحمل. يتطلب فهم معظم طرق
منع الحمل فهمًا مسبقًا لتشريح ووظائف الجهاز التناسلى الأنثوى، لذ
لك تُناقش تقنيات منع الحمل لكلا الجنسين فى نهاية الفصل التالى،
بينما تُناقش الأمراض المنقولة جنسيًا فى هذا الفصل)انظر التعمق
27.5(. وهذا لا يعنى، بالطبع، أن الأمراض المنقولة جنسيًا هى مسألة
تخص الذكور فقط ووسائل منع الحمل تخص الإناث فقط.

تُلخص اضطرابات الجهاز التناسلى الخاصة بالذكور والإناث بإيجاز
فى الجدول 27.3 و الجدول 28.5 على التوالى. وتُوصف تأثيرات ا
لتقدم فى العمر على الجهاز التناسلى فى الفصل 29.

يحدث القذف على مرحلتين تُسمى *الانبعاث* و *الطرد*. فى الانبعا
ث، يحفز الجهاز العصبى الودى التمعج فى العضلات الملساء لقناة ال
قذف)ductus deferens(، مما يدفع الحيوانات المنوية من ذيل ال
بربخ، على طول القناة، وإلى الأمبولة. تدفع انقباضات الأمبولة الحيوانا
ت المنوية إلى الإحليل البروستاتى، وتدفع انقباضات العضلات المل
ساء فى البروستاتا السائل البروستاتى إلى الإحليل. تنضم إفرازات الح
ويصلات المنوية إلى السائل المنوى بعد وقت قصير من إفراز البروس
تاتا. تخلق الانقباضات وتدفق السائل المنوى فى هذه المرحلة إحسا
سًا ملحًا بأن القذف لا مفر منه.

السائل المنوى فى الإحليل يُفعّل الانعكاسات الجسدية والودية ا
لتى تؤدى إلى طرده. تنتقل الإشارات الحسية إلى الحبل الشوكى عبر ا
لعصب العانى الداخلى وتصل إلى مركز تكاملى فى المنطقة القطنية ا
لعليا. تحمل الألياف العصبية الودية الإشارات الحركية من هنا إلى ال
بروستاتا والحويصلات المنوية، مما يسبب انقباض العضلات الملساء
فى جدرانها لإفراز المزيد من السائل إلى الإحليل. كما يضيّق الانعكا
س الودى المصرة الداخلية للإحليل حتى لا يدخل البول إلى الإحليل و
لا يدخل السائل المنوى إلى المثانة.

تغادر الإشارات الحركية الجسدية من الفقرات العجزية الثالثة والر
ابعة للحبل الشوكى وتنتقل إلى عضلات البلبوسبونجيوس، والإسكيو
فيرنوسوس، ورافعة العجان. يخضع عضل البلبوسبونجيوس، الذى يح
يط بجذر القضيب)انظر الشكل 10.21أ(، إلى خمس أو ست انقباضا
ت قوية وتشنجية تضغط على الإحليل وتدفع السائل المنوى بقوة. ى
تم قذف معظم الحيوانات المنوية فى المليلتر الأول من السائل المنو
ى، المختلط أساسًا بسائل البروستاتا. يتبع ذلك إفرازات الحويصلات ا
لمنوية التى تطرد معظم الحيوانات المنوية المتبقية من قنوات القذ
ف والإحليل. قد يتسرب بعض الحيوانات المنوية من القضيب قبل ا
لقذف، وبالتالى يمكن أن يحدث الحمل من الاتصال الجنسى حتى بدو
ن الوصول إلى النشوة الجنسية.
يُصاحب النشوة الجنسية شعور شديد بالمتعة والتحرر من التوتر.
القذف والنشوة الجنسية ليسا نفس الشىء.
على الرغم من أنها تحدث عادةً معًا، فمن الممكن أن تحدث جميعها

الجدول 27.3	بعض اضطرابات الجهاز التناسلى الذكرى
سرطان الثدى	يشكل 0.2% من حالات السرطان بين الذكور فى الولايات المتحدة؛ يُرى عادة بعد سن 60 ولكن أحيانًا فى الأطفال والمراهقين.)لكل ذكر ى صاب بسرطان الثدى، يصاب حوالى 175 أنثى.(عادة ما يُشعر به ككتلة بالقرب من الحلمة، غالبًا مع تقشر وإفرازات من الحلمة. غالبًا ما يكون م تقدمًا جدًا عند التشخيص، مع توقعات ضعيفة للشفاء، بسبب الإنكار والتأخير فى طلب العلاج.
ضعف الانتصاب)العجز الجنسى(	عدم القدرة على الحفاظ على انتصاب كافٍ للدخول المهبلى فى نصف المحاولات أو أكثر. يمكن أن ينجم عن التقدم فى العمر وانخفاض م ستوى التستوستيرون بالإضافة إلى أمراض القلب والأوعية الدموية والأمراض العصبية، وداء السكرى، والأدوية، والخوف من الفشل، والا كتئاب، وأسباب أخرى.
Hypospadias[36] (HY-po-SPAY-dee-us)	عيب خلقى يتمثل فى فتح الإحليل على الجانب البطنى أو قاعدة القضيب بدلاً من الطرف؛ وعادةً ما يتم تصحيحه جراحياً فى حوالى ع مر السنة.
العقم	عدم القدرة على تخصيب البويضة بسبب انخفاض عدد الحيوانات المنوية)أقل من 20 إلى 25 مليون/مل(، أو ضعف حركة الحيوانا ت المنوية، أو نسبة عالية من الحيوانات المنوية المشوهة)رأسان، ذيول معيبة، إلخ(. قد ينتج عن سوء التغذية، أو السيلان وأمراض أخرى معدية، أو السموم، أو نقص التستوستيرون أو الزنك.
سرطان القضيب	يشكل 1% من سرطانات الذكور فى الولايات المتحدة؛ الأكثر شيوعاً بين الذكور السود الذين تتراوح أعمارهم بين 50 و70 سنة ومن ذوى الدخل المنخفض. غالباً ما يُرى عند الرجال الذين لديهم قلفة غير قابلة للسحب)الختان الضيق(مع سوء نظافة القضيب؛ والأقل شيوعاً عند الرجال الذين تم ختا نهم عند الولادة.
سرطان الخصية	أكثر الأورام الصلبة شيوعاً بين الرجال الذين تتراوح أعمارهم بين 15 و34 سنة. الذكور البيض لديهم معدل إصابة أعلى بأربعة إلى خمسة أ ضعاف مقارنة بالذكور السود، وثلاثة أضعاف مقارنة بالذكور الآسيويين. الذكور اللاتينيون والأمريكيون الأصليون لديهم معدلات بين الذكور البي ض والآسيويين. يبدأ عادةً ككتلة أو تضخم غير مؤلم فى الخصية. قابل للشفاء بشكل كبير إذا تم اكتشافه مبكراً. يجب على الرجال فحص كيس الصفن بانتظام للتحقق من حجم الخصية الطبيعى وملمسها الأملس.
دوالى الخصية)VAR ICOCELE)	توسع غير طبيعى فى أوردة الحبل المنوى، بحيث تبدو كـ "كيس من الديدان". يحدث فى 10% من الذكور فى الولايات المتحدة. ناتج عن غياب أو ضعف صمامات الأوردة. يقلل من تدفق الدم إلى الخصية وغالبًا ما يسبب العقم.

يمكنك العثور على اضطرابات أخرى فى الجهاز التناسلى الذكرى موصوفة فى الأماكن التالية:

متلازمة مقاومة الأندروجين فى نظرة أعمق 27.1؛ تضخم البروستاتا الحميد و سرطان البروستاتا فى نظرة أعمق 27.2؛ و الأمراض المنقولة جنسيًا)السيلان، الكلام يديا، الزهرى، الهربس التناسلى، و الثآليل التناسلية(فى نظرة أعمق 27.5.

قبل أن تتابع

أجب أو أكمل ما يلى لاختبار فهمك للقسم السابق:

19. اشرح كيف تتغير الدورة الدموية فى القضيب أثناء التحفيز الجنسى ولماذا يتضخم القضيب ويصبح صلبًا.

20. اذكر أدوار الجهاز العصبى الودى، والجهاز العصبى اللاودى، والجها ز العصبى الجسدى فى الاستجابة الجنسية لدى الذكور.

[36] hypo = تحت؛ spad = لتصريف)البول(



نظرة أعمق 27.5

التطبيق السريرى

الأمراض المنقولة جنسيًا

الأمراض المنقولة جنسيًا)STDs(معروفة جيدًا منذ كتابات أبقراط. هنا نناقش ثلاثة أمراض بكتيرية منقولة جنسيًا— السيلان، الكلاميديا، والزهرى—وثلاثة أمراض فيروسية منقولة جنسيًا—الهربس التناسلى، الثآليل التناسلية، والتهاب الكبد. يتم مناقشة الإيدز فى الفصل 21.

جميع هذه الأمراض المنقولة جنسياً لها فترة حضانة *incubation period* يتكاثر فيها العامل الممرض دون ظهور أعراض، وفترة انتقالية *communicable period* يمكن خلالها نقل المرض للآخرين، حتى فى غياب الأعراض. غالبًا ما تسبب الأمراض المنقولة جنسياً تشوهات جنينية، وفاة الجنين داخل الرحم، ووفاة حديثى الولادة.

السيلان)GON-oh-REE-uh(يسببه البكتيريا Neisseria gonorrhoeae. جالين، معتقدًا أن القيح الخارج من القضيب هو السائل المنوى، سمى المرض السيلان)"تدفق المنى"(. يسبب السيلان ألمًا فى البطن، ألمًا وإفرازات فى الأعضاء التناسلية، وألمًا عند التبول. فى النساء، يمكن أن يسبب نزيفًا رحمياً غير طبيعى، لكن 10% إلى 20% من النساء المصابات لا تظهر عليهن أعراض. يمكن أن يسبب تندبًا فى قنوات الرحم، مما يؤدى إلى العقم. يعالج السيلان بالمضادات الحيوية.

التهاب الإحليل غير السيلانى)NGU(هو أى التهاب فى الإحليل ناتج عن عوامل غير بكتيريا السيلان. غالبًا ما يسبب NGU ألمًا أو انزعاجًا عند التبول. أكثر أنواع NGU البكتيرية شيوعًا هو الكلاميديا التى يسببها *Chlamydia trachomatis.* معظم إصابات الكلاميديا تكون بدون أعراض، لكنها قد تسبب إفرازات من الإحليل وألمًا فى الخصيتين أو منطقة الحوض. غالبًا ما يحدث السيلان والكلاميديا معًا.

مرض التهاب الحوض)PID(هو التهاب حاد ومؤلم فى أعضاء الحوض الأنثوية، عادة بسبب عدوى الكلاميديا أو Neisseria. غالبًا ما يسبب نزيفًا غير منتظم أثناء الحيض أو ألمًا عند التبول. قد يؤدى إلى العقم وقد يتطلب إزالة جراحية لقنوات الرحم المصابة أو أعضاء أخرى. PID مسؤول عن العديد من حالات الحمل خارج الرحم)انظر التعمق 29.2(.

الزهرى)SIFF-ih-liss(يسببه بكتيريا لولبية تُسمى Treponema pallidum. بعد فترة حضانة تتراوح بين 2 إلى 6 أسابيع، يظهر آفة صغيرة وصلبة تسمى القرحة)SHAN-kur(فى موقع العدوى — فى الذكور، عادة على القضيب، وفى الإناث، أحيانًا فى مكان غير مرئى داخل المهبل. تختفى هذه الآفة خلال 4 إلى 6 أسابيع، منهية المرحلة الأولى من الزهرى وغالبًا ما تخلق وهم الشفاء. ومع ذلك، تبدأ المرحلة الثانية بظهور طفح وردى واسع الانتشار، وطفح جلدى آخر، وحمى، وألم فى المفاصل، وتساقط الشعر. يختفى هذا خلال 3 إلى 12 أسبوعًا، لكن الأعراض قد تتكرر وتختفى لمدة تصل إلى 5 سنوات. يكون الشخص معديًا حتى فى غياب الأعراض. قد يتطور المرض إلى المرحلة الثالثة، الزهرى الثالثى)الزهرى العصبى(، مع تلف فى القلب والأوعية الدموية وآفات دماغية قد تسبب الشلل والخرف. الزهرى قابل للعلاج بالمضادات الحيوية.

الهربس التناسلى هو أكثر الأمراض المنقولة جنسياً شيوعًا فى الولايات المتحدة، مع 20 إلى 40 مليون شخص مصاب. عادة ما يسببه فيروس الهربس البسيط النوع 2)HSV-2(. بعد فترة حضانة من 4 إلى 10 أيام، يسبب الفيروس بثورًا على قضيب الذكر؛ وعلى الشفرين، المهبل، أو عنق الرحم لدى الأنثى؛ وأحيانًا على الفخذين والأرداف لدى كلا الجنسين. خلال 2 إلى 10 أيام، تنفجر هذه البثور، وتسيل منها سوائل، وتبدأ فى تكوين قشور. قد تكون العدوى الأولية بدون ألم أو قد تسبب ألمًا شديدًا، التهاب الإحليل، وإفرازات مائية من القضيب أو المهبل.

تلتئم الآفات خلال 2 إلى 3 أسابيع ولا تترك ندوبًا.
خلال هذه الفترة، يستعمر فيروس الهربس الأعصاب الحسية والعقد العصبية. يمكن أن يبقى خامدًا لسنوات، ثم يهاجر لاحقًا على طول الأعصاب مسببًا آفات ظهارية فى أى مكان بالجسم. هذا التنقل من مكان لآخر هو أساس اسم الهربس.[37] معظم المرضى يعانون من خمس إلى سبع نوبات متكررة، تتراوح بين عدة سنوات إلى عدة مرات فى السنة. يكون الشخص المصاب معديًا لشريك جنسى عندما تكون الآفات موجودة وأحيانًا حتى عندما لا تكون موجودة.

قد يزيد فيروس الهربس من خطر الإصابة بسرطان عنق الرحم والإيدز.

الثآليل التناسلية)الكونديلومات(تسببها سلالات مختلفة من فيروس الورم الحليمى البشرى)HPV(. فى معظم الحالات، يختفى عدوى فيروس الورم الحليمى البشرى من تلقاء نفسه ولا يسبب أية مشاكل صحية. ومع ذلك، إذا استمر، فقد يسبب ثآليل تناسلية أو ما هو أسوأ. عند الذكور، تظهر الثآليل عادة على القضيب، العجان، أو الشرج؛ وعند الإناث، تكون عادة على عنق الرحم، جدار المهبل، العجان، أو الشرج. تكون الآفات أحيانًا صغيرة وشبه غير مرئية. يمكن علاج الثآليل التناسلية بالجراحة بالتبريد)التجميد والاستئصال(، الجراحة بالليزر، أو الإنترفيرون. أصبح لقاح فيروس الورم الحليمى البشرى متاحًا فى عام 2006 وانخفضت معدلات العدوى بين الشباب بشكل كبير نتيجة للتطعيم. تسبب بعض سلالات فيروس الورم الحليمى البشرى المختلفة عن تلك التى عادة ما تسبب الثآليل التناسلية سرطان القضيب، المهبل، عنق الرحم، الشرج، والحلق؛ حيث أن ما يقرب من جميع حالات سرطان عنق الرحم وحوالى 70% من سرطانات الحلق ناجمة عن فيروس الورم الحليمى البشرى. هناك حوالى 14 مليون حالة جديدة من عدوى فيروس الورم الحليمى البشرى فى الولايات المتحدة سنويًا. نظرًا للانتشار المقلق للنشاط الجنسى وفيروس الورم الحليمى البشرى بين المراهقين الشباب، توفر إدارة الغذاء والدواء الأمريكية توصية بتطعيم الفتيات والأولاد فى سن البلوغ على أمل تحصين معظمهم قبل بدء النشاط الجنسى.توفر إدارة الغذاء والدواء الأمريكية توصية بتطعيم الفتيات والأولاد فى سن البلوغ على أمل تحصين معظمهم قبل بدء النشاط الجنسى.

التهاب الكبد ب و ح هما أمراض التهابية فى الكبد تسببها فيروسات التهاب الكبد ب وح)HBV, HCV(، التى تم تقديمها فى نظرة أعمق 26.3.
على الرغم من إمكانية انتقالها بطرق غير جنسية، إلا أنها أصبحت تزداد شيوعًا كأمراض منقولة جنسيًا. يهدد التهاب الكبد ح أن يصبح وباءً رئيسيًا فى القرن الحادى والعشرين. فهو يتجاوز بكثير انتشار الإيدز ويُعد السبب الرئيسى لعمليات زراعة الكبد فى الولايات المتحدة.

[37] *herp* = الزحف

دليل الدراسة

قيّم نتائج تعلمك

*لاختبار معرفتك، ناقش المواضيع التالية مع شر
يك دراسة أو كتابةً، ويفضل من الذاكرة.*

27.1 التكاثر الجنسي والتطور

1. الخصائص الأساسية للتكاثر الجنسي؛ ما يحدد
الذكر والأنثى في أي نوع جنسي؛ وأسماء و
خصائص الأمشاج والغدد التناسلية الخاصة
بكل منهما
2. الوظائف المتعددة للجهاز التناسلي الذكري و
الأنثوي
3. أي الأعضاء في كل جنس تعتبر أعضاء جنسية
أولية وثانوية؛ وأيها تعتبر أعضاءً تناسلية داخل
ية وخارجية؛ وكيف تختلف الصفات الجن
سية الثانوية عن الأعضاء الجنسية الثانوية
4. الفرق بين الكروموسومات الجنسية والكروم
وسومات الجسدية؛ عدد كل منها؛ أسماء الكر
وموسومات الجنسية؛ وكيف يختلف الذكور وا
لإناث كروموسوميًا
5. الجين المحدد للذكورة على كروموسوم Y؛ ا
سم البروتين المشفر بواسطة هذا الجين؛ وتأثير
هذا البروتين على التطور الجنيني
6. مصير القنوات الميزونيفرية والقنوات البار
اميزونيفرية في الأجنة الذكرية والأنثوية، ولم
اذا يتم تحديد ذلك بشكل غير مباشر بواسطة
جين *SRY*
7. هياكل النتوء الجنسي الجنيني،
الثنيات البولية التناسلية، وثنيات الشفرين والصفن؛ و
الهياكل الناضجة للذكر والأنث
التي تنشأ من كل منها
8. نزول الغدد التناسلية؛ أوجه التشابه والاخ
تلاف في هذه العملية في الجنين الذكر والأن
ثى؛ ونتائج عدم اكتمال هذه العملية لدى الذكر

27.2 التشريح التناسلي الذكري

1. تشريح ووظائف الصفن
وحيل الحيوانات المنوية
2. لماذا يجب أن تبقى الخصيتان أبرد من
درجة حرارة الجسم الأساسية، وثلاثة آليات
لتحقيق ذلك
3. تشريح الخصية ووظائف
الأنابيب المنوية وخلايا الغدد الصماء
الوسطية
4. الطهارة الجرثومية للأنبوب المنوي؛ أنواع خلاياه
ووظائفها؛ ضرورة وبنية الحاجز الدموي-الخص
وي
5. الإمداد الشرياني والتصريف الوريدي للخصية
؛ الأعصاب الخصوية والأوعية اللمفاوية
6. التشريح العام للبربخ؛ سلسلة قنوات الحيوانا
ت المنوية من القنوات الناقلة إلى القناة القاذ
فة؛ والفروقات في تشريحها وعلاقاتها بالأع
ضاء المجاورة
7. ثلاث مجموعات من الغدد الملحقة الذكرية؛
تشريحها، وظائفها، وعلاقاتها بالأعضاء الم
جاورة
8. جذر القضيب، الجذع، والحشفة؛ القلفة والر
باط السفلي في الطرف البعيد؛ البصلة والقرو
ن في الطرف القريب
9. الأنسجة الانتصابية للقضيب؛ تركيبها النسيج
ي؛ الفراغات الكهفية،
الأعمدة الليفية والعضلة الليفية، الفروقات
بين الجسم الإسفنجي والأجسام الكهفية

27.3 البلوغ، التحكم الهرموني، والمرح لة الانتقالية

1. تعريفات البلوغ والمراهقة؛ النطاق العمري النم
وذجي لكل منهما
2. المحفز الهرموني لبدء البلوغ؛ أدوار هرمون مطلق الغونادوترو
بين (GnRH)، الهرمون المنشط للحويصلات (FSH)، الهرمون ا
للوتيني (LH)، الأندروجينات، وبروتين ربط الأندروجين في المراه
قة الذكرية
3. التغيرات الجسدية في المراهقة الذكرية، بدا
ية الرغبة الجنسية، وأسبابها الهرمونية الخاص
ة
4. مصدر الإنهيبين ودوره في الفسيولوجيا الج
نسية للذكور
5. التغيرات في مستويات التستوستيرون، ا
لإنهيبين، FSH، وLH على مدار حياة الذكر؛ كي
ف ترتبط هذه بالتثبيط الراجع السلبي للغدة الن
خامية؛ والتأثيرات التي يعاني منها بعض الرج
ال في فترة انقطاع الطمث الذكري
6. تأثيرات التقدم في السن على الوظيفة الجنسية للذكر

27.4 الحيوانات المنوية والسائل المنوي

1. معنى *تكوين الحيوانات المنوية* والتمييز بين تكوين
الحيوانات المنوية وتكوين الحيوانات المنوية الناضجة (s
permiogenesis)
2. لماذا الانقسام الاختزالي ضروري في الأ
نواع التي تتكاثر جنسياً، كيف يؤثر على ع
دد الكروموسومات في الأمشاج، ولماذا يبق
ى عدد الكروموسومات ثابتًا من جيل إلى آخر
3. المراحل التسع للانقسام الاختزالي—أربع مراحل في الانقسام الاختزالي الأول، فترة
بين الانقسامين (interkinesis)، وأربع مراحل في الانقسام الاختزالي الثاني؛ الأحداث
لكل مرحلة؛ العدد النهائي للخلايا الابنة الوظ
فية، عدد كروموسوماتها، والتركيب النهائي
للكروموسومات في الذكر
4. عدة أسباب تجعل الانقسام الاختزالي يؤد
ي إلى التنوع الجيني في الأمشاج
5. أصل الخلايا الجرثومية البدائية، هجرتها إلى
الغدد التناسلية الجنينية، والمرحلة التي وصل
ت إليها عند الولادة
6. طريقة ومكان إنتاج النوع أ والنوع ب من ا
لأرومات المنوية والفرق بينهما
7. مراحل تحول الأرومات المنوية إلى الحيوانا
ت المنوية؛ كيف تهاجر الخلايا الجرثومية عبر ا
لطهارة الجرثومية أثناء حدوث ذلك؛ متى يج
ب أن تمر عبر حاجز الدم-الخصية، ولماذا، وكي
ف تفعل ذلك
8. عملية وتأثيرات تكوين الحيوانات المنوية الناضجة (السبرميوجينيسيس)
9. شكل الحيوان المنوي الناضج ووظائف أج
زائه
10. تركيب السائل المنوي ونسبته المئوية من م
صادره الثلاثة الرئيسية؛ وظائف الفركتوز، السم
ينوجلين، إنزيم التخثر، البروستاجلاندينات، وا
لبروتياز السيريني؛ وهوية وأهمية المستضد ال
نوعي للبروستاتا (PSA) سريريًا
11. عدد الحيوانات المنوية النموذجي والحد الأد
نى اللازم للخصوبة

27.5 الاستجابة الجنسية لدى الذكور

1. الأوعية الدموية في القضيب وكيفية عمله
ا في القضيب المترهل وأثناء الانتصاب
2. الإمداد العصبي للقضيب وعلاقته بالضفيرة
العجزية والحبل الشوكي؛ ثلاثة أنواع من الألياف
العصبية التي يستقبلها القضيب
3. التغيرات الفسيولوجية التي يمر بها الذكر خلا
ل مرحلة الإثارة من الاستجابة الجنسية
4. آلية الانتصاب بما في ذلك أدوار التحفيز ال
لاودي، وأكسيد النيتريك، وتوسع الأوعية الدم
وية؛ ولماذا تمتلئ الأجسام الكهفية أكثر من
الجسم الإسفنجي
5. الحالة الفسيولوجية للذكر في مرحلة الثبات
من الاستجابة الجنسية
6. آلية النشوة الجنسية لدى الذكر، بما في ذلك
مراحل القذف
7. خصائص مرحلة الانفراج لدى الذكر؛ آلية انكما
ش القضيب؛ وفترة الامتناع

دراسة دليل

اختبار استذكارك

الإجابات فى الملحق أ

1. يتطور القناة الناقلة)ductus deferens(من
______ فى الجنين.
أ. القناة الميزونيفرية
ب. القناة البارامیزونيفرية
ج. العضو التناسلى)الفالوس(
د. طيات الشفرين والصفن
هـ. الثنيات البولية التناسلية

2. البروتين الذى يسبب تخثر وسماكة السائل الم
نوى هو
أ. السيمينوجلين.
ب. البروستاجلاندين.
ج. الفيبرين.
د. الفوسفوديستيراز.
هـ. البروتياز السيرينى.

3. يحدث طرد السائل المنوى عندما يتم تحفي
ز عضلة البلبوسبونجيوس بواسطة
أ. العصبونات الحركية الجسدية.
ب. العصبونات الحسية الجسدية.
ج. العصبونات الحركية الودية.
د. العصبونات الودية القحفية.
هـ. البروستاجلاندينات.

4. قبل القذف، يتم تخزين الحيوانات المنوية
أساسًا فى
أ. الأنابيب المنوية.
ب. المساحات الكهفية.
ج. البربخ.
د. الحويصلات المنوية.
هـ. قنوات القذف.

5. القضيب متصل بالقوس العانى بواسطة
أذرع
أ. الأجسام الكهفية.
ب. الجسم الإسفنجى.
ج. الغشاء العجانى.
د. عضلة البصلة الإسفنجية.
هـ. عضلة العانة الكهفية.

6. أول هرمون يُفرز عند بداية
البلوغ هو
أ. هرمون تحفيز الجريبات.
ب. هرمون تحفيز الخلايا البينية.
ج. موجهة الغدد التناسلية المشيمائية البشرية.
د. هرمون مطلق لموجهة الغدد التناسلية.
هـ. التستوستيرون.

7. عندما يكون من الضرورى تقليل إنتاج ال
حيوانات المنوية دون تقليل إفراز التستوس
تيرون، تفرز خلايا الممرضة
أ. ديهيدروتستوستيرون.
ب. بروتين ربط الأندروجين.
ج. هرمون LH.
د. هرمون FSH.
هـ. إنهيبين.

8. تنتج أربع حيوانات منوية من كل
أ. خلية جرثومية أولية.
ب. نوع A من الأرومات المنوية.
ج. نوع B من الأرومات المنوية.
د. الخلية المنوية الثانوية.
هـ. الطور المنوى.

9. النقطة فى الانقسام الاختزالى التى تنفصل فيها الكرو
ماتيدات الشقيقة عن بعضها هى
أ. الطور التمهيدى الأول.
ب. الطور الاستوائى الأول.
ج. الطور الانفصالى الأول.
د. الطور الانفصالى الثانى.
هـ. الطور النهائى الثانى.

10. يتم دفع الدم خارج الفراغات الكهفية للقضيب
بواسطة انقباض
أ. عضلة البصلة الإسفنجية.
ب. عضلة العانة الكهفية.
ج. كريماستر.
د. عضلات الحزم.
هـ. عضلة الدارتوس.

11. تحت تأثير الأندروجينات، يتطور القناة ا
لجنينية ______ إلى الجهاز التناسلى الذكرى.

12. نقص ______ يمكن أن يسبب ضعف الحيو
انات المنوية وعقم الذكور.

13. ______، شبكة من الأوردة فى الحبل المنوى، تسا
عد فى الحفاظ على برودة الخصيتين مقارنة بدرجة
حرارة الجسم الأساسية.

14. جميع الخلايا الجرثومية التى تبدأ بـ ______
تختلف جينيًا عن بقية خلايا الجسم وبالتالى يج
ب حمايتها بحاجز الدم-الخصية.

15. الجسم الكهفى، وكذلك الخصيتان،
لهما غلاف ليفى يسمى ______.

16. أكثر من نصف السائل المنوى يتكون من إ
فرازات من زوج من الغدد تسمى
______.

17. الحاجز الدموى-الخصوى يتكون من وصلات
ضيقة بين خلايا ______.

18. أول مرحلة أحادية العدد فى تكوين الحيوانات ا
لمنوية هى ______.

19. يحدث انتصاب القضيب عندما يسبب أ
كسيد النيتريك توسع شرايين ______.

20. يخترق الحيوان المنوى البويضة بواسطة
الإنزيمات فى ______ الخاصة به.

بناء مفرداتك الطبية

الإجابات فى الملحق أ

اذكر معنى كل عنصر من عناصر الكلمة، وقدم مصطلحًا طبيًا من هذا الفصل يستخدم أو تعديلًا طفيفًا له.

1. كريبتو-
2. ديديمو-
3. إى-
4. غامو-
5. -إيرزم
6. ميو-
7. orchido-
8. الشبكة
9. -بعص
10. المهبل-

دليل الدراسة

ما الخطأ في هذه العبارات؟

الإجابات في الملحق أ

اشرح بإيجاز لماذا كل من العبارات التالية غير صحيحة، أو أعد صياغتها لتصبح صحيحة.

1. يتم إفراز التستوستيرون بواسطة خلايا المرضة في ا لخصية.
2. تحمل الحيوانات المنوية معظم حمضها النووي في الجز ء الأوسط السميك الموجود مباشرة خلف رأس الخلية.
3. التكوين النهائي للحيوانات المنوية هو مرحلة تكمل فيها الخ لايا الجنسية الذكرية الانقسام الاختزالي الثاني وتتحول إ لى خلايا منوية ناضجة.
4. الخصيتان والقضيب هما الأعضاء الجنسي ة الأولية لدى الذكر.
5. مستوى عالٍ من التستوستيرون يجعل ا لجنين يتطور جهازًا تناسليًا ذكريًا، ومستوى عالٍ من الإستروجين يجعله يتطور جهازًا تناسليًا أنثويًا.
6. معظم حجم السائل المنوي يُنتج بواسطة ا لخصيتين.
7. الصفيرة البامبينية تعمل على إبقاء الخصيتين دافئتين بما يكفي لتطور الحيوانات المنوية.
8. يجب على الحيوانات المنوية النامية أن ترتبط بالتستوستيرون لكي تكمل تطورها.
9. انقطاع الطمث عند الذكور هو توقف إنتاج الحيوانات المنوية حوالي سن ٥٥.
10. يحدث الانتصاب بسبب التحفيز الودي لأنس جة الانتصاب.

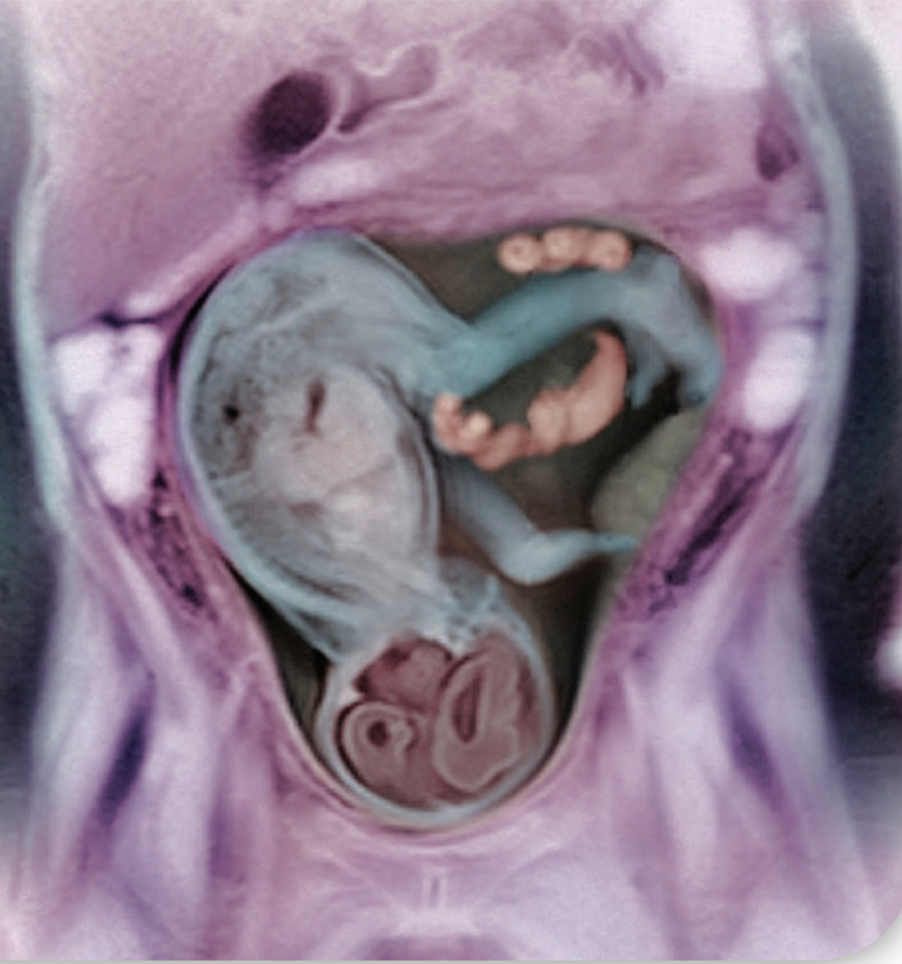
اختبار فهمك

1. اشرح لماذا قد يُعتبر التستوستيرون إفرازًا صماويًا وباراكرينًا في الخصيتين.)راجع الباراكرينات في القسم 17.6 إذا لزم الأمر.(
2. شاب راكب دراجة نارية تعرض لحادث قطع ا لحبل الشوكي عند الرقبة وأدى إلى شلله من ا لرقبة نزولاً. عندما أبلغت زوجته بالوضع، سأ لت الطبيب إذا كان زوجها سيتمكن من الان تصاب وإنجاب أطفال. ماذا هل يجب على الطبيب أن يخبرها؟ اشرح إ جابتك.
3. بالنظر إلى الشكل 22.26أ وعلاقته بدرجة الحرارة في كيس الصفن، هل تتوقع أن يقوم الهيموغلوبين بإطلاق كمية أكبر من الأكسجين إلى الخصيتين، أم أقل، مقارنة بما يطلقه إلى الأعضاء الداخلية الأكثر دفئًا في تجاويف الجسم؟ فسّر ذلك.
4. لماذا من الممكن أن تكون الأرومات المنوية خارج حاجز الدم–الخصية، ومع ذلك تكون ضرورية للخلايا المنوية الأولية وما بعدها هل المراحل تكون داخل الحاجز، معزولة عن الدم؟
5. رجل يبلغ من العمر 68 عامًا يتناول أدوية لارت فاع ضغط الدم يشكو للطبيب من أن هذه الأدوية جعلته يعاني من ضعف الانتصاب. اشرح لماذا يم كن أن يكون هذا تأثيرًا لأدوية خفض ضغط الدم.

الفصل

28

الجهاز التناسلى الأنثوى



مسح بالرنين المغناطيسى لجنين عمره 36 أسبوعًا فى الرحم

سيمون فريزر/ساينس سورس

رؤى أعمق

مخطط الفصل

Anatomy & Physiology Revealed 4.0

Module 14: Reproductive System

مراجعة

- أفضل طريقة لفهم تشريح الجهاز التناسلى الأنثوى هى من منظور التطور الجنينى للجهاز التناسلى الموضح فى الأقسام 27.1د و27.1و والرسوم التوضيحية 27.3 و27.4.
- ستحتاج إلى فهم جيد لهرمون مطلق الغونادوتروبين، وهرمون تحفيز الجريب، وهرمون اللوتين؛ ومحور الوطاء-الغدة النخامية-المبيض؛ والتثبيط الراجع السلبى للوطاء والغدة النخامية)انظر القسم 17.2(لفهم عدة جوانب من تطور المبيض، والإباضة، والحيض، والحمل، والرضاعة.
- تشمل التفاعلات الهرمونية فى دورة التكاثر والحمل التأثيرات التآزرية، والتصريحية، والتضادية الموضحة فى القسم 17.4هـ.
- تتضمن عملية تكوين البويضات)إنتاج البويضات(نفس مراحل الانقسام الاختزالى كما فى تكوين الحيوانات المنوية لدى الذكر)انظر الرسم 27.4ب(؛ ويُعرض فى هذا الفصل فقط الفروقات بين تكوين البويضات وتكوين الحيوانات المنوية.
- الاستجابة الجنسية للأنثى تشبه إلى حد كبير تلك الخاصة بالذكر)انظر القسم 27.5(؛ ويُعرض فى هذا الفصل فقط الفروقات بين الأنثى والذكر.

الجهاز التناسلى الأنثوى أكثر تعقيدًا من الذكرى لأنه يخدم أغراضًا أكثر. ففى حين يحتاج الذكر فقط إلى إنتاج ونقل الأمشاج، يجب على الأنثى القيام بذلك بالإضافة إلى توفير التغذية والبيئة الآمنة لتطور الجنين، ثم الولادة وتغذية الرضيع. علاوة على ذلك، فإن فسيولوجيا التكاثر الأنثوى أكثر وضوحًا فى كونها دورية، وتُفرز الهرمونات الأنثوية بتتابع أكثر تعقيدًا مقارنة بالإفراز النسبى المستقر والمتزامن للهرمونات المنظمة لدى الذكر.

يناقش هذا الفصل تشريح الجهاز التناسلى الأنثوى؛ وإنتاج الأمشاج وكيف يرتبط بدورات المبيض والحيض؛ والاستجابة الجنسية الأنثوية؛ وفسيولوجيا الحمل والولادة والرضاعة. ويتم تناول تطور الجنين والجنين فى الفصل التالى.

28.1 تشريح الجهاز التناسلى الأنثوى APR

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف بنية المبيض؛

ب. تتبع المسار التناسلى الأنثوى ووصف التشريح العام والنسيج لكل عضو؛

ج. تحديد الأربطة التى تدعم الأعضاء التناسلية الأنثوية؛

د. وصف إمداد الدم للجهاز التناسلى الأنثوى؛

هـ. تحديد الأعضاء التناسلية الخارجية للأنثى؛ و

و. وصف تركيب الثدى.

28.1أ التمايز الجنسى

الجهاز التناسلى الأنثوى)الشكل 28.1(يختلف بوضوح عن الجهاز الذكرى، ولكن كما رأينا سابقًا، لا يمكن التمييز بين الجنسين فى الأسابيع الثمانية إلى العشرة الأولى من التطور)انظر الشكل 27.4(. يتطور الجهاز التناسلى الأنثوى من القناة البراميسونيفرية ليس بسبب تأثير إيجابى لأى هرمون، بل بسبب غياب التستوستيرون وعامل تثبيط مولر)MIF(. بدون التستوستيرون، تتحلل القناة الميزونيفرية بينما يتحول الحدبة التناسلية إلى رأس البظر، وتتطور الطيات البولية التناسلية إلى الشفرين الصغيرين، وتتطور الطيات الشفرية الصفنية إلى الشفرين الكبيرين. بدون عامل تثبيط مولر، تتطور القنوات البراميسونيفرية عادةً إلى قنوات فالوب، والرحم، والمهبل)انظر الشكل 27.3(.

28.1ب الأعضاء التناسلية

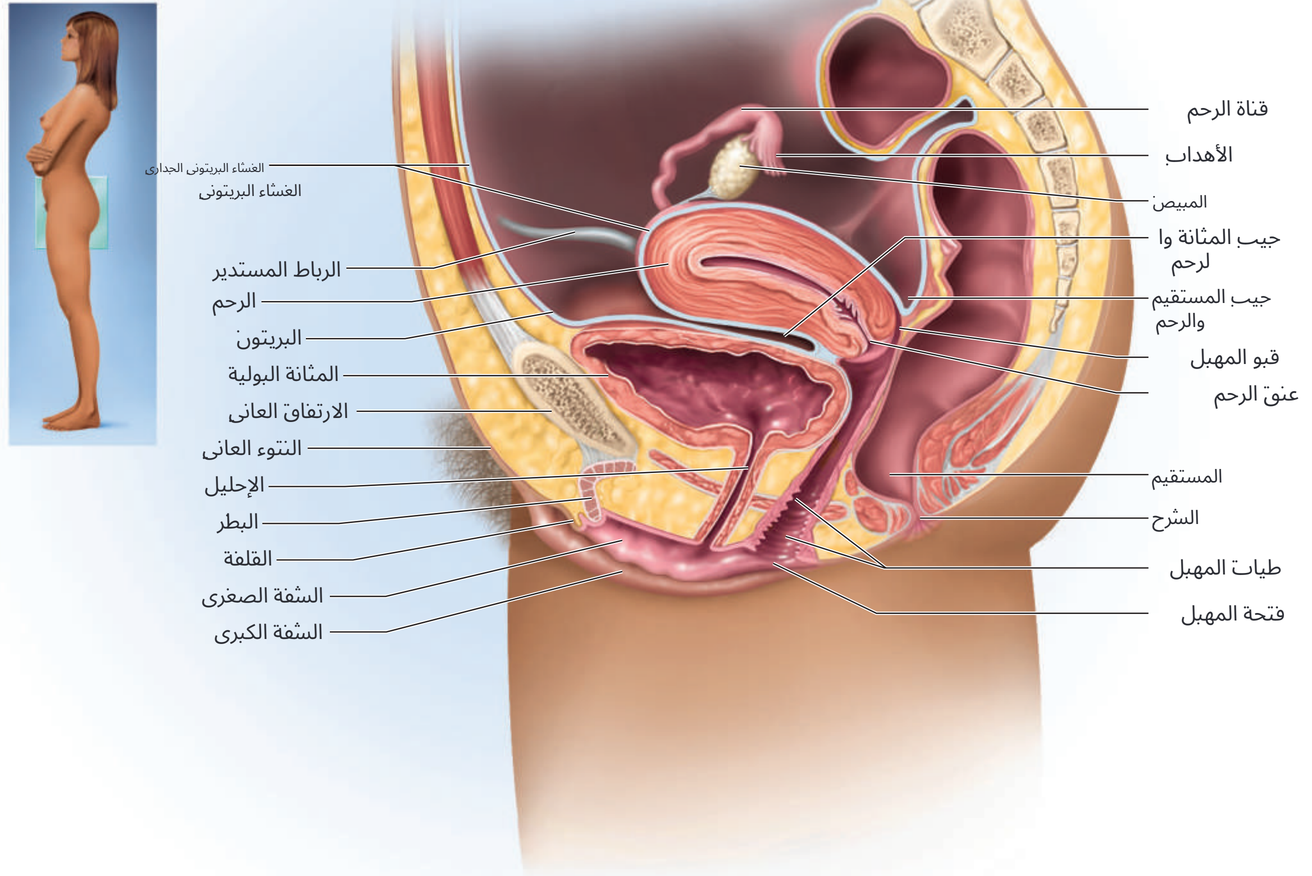
تشمل الأعضاء التناسلية الداخلية المبايض ونظام قنوات يمتد من محيط كل مبيض إلى خارج الجسم—قنوات الرحم، والرحم، والمهبل. تشمل الأعضاء التناسلية الخارجية بالأساس البظر، والشفرين الصغيرين، والشفرين الكبيرين، والغدد تحت الجلدية المرتبطة والأنسجة الانتصابية. تقع هذه فى العجان وسيتم وصفها لاحقًا فى هذا الفصل. المبايض هى الأعضاء الجنسية الأولية، والأعضاء التناسلية الداخلية والخارجية الأخرى هى الأعضاء الجنسية الثانوية.

المبايض

الغدد التناسلية الأنثوية هى المبايض،[1] التى تنتج خلايا البويضة)البويضات(والهرمونات الجنسية. المبيض هو عضو على شكل لوزة مستقر فى *الحفرة المبيضية*، وهى تجويف فى الجدار الحوضى الخلفى. يبلغ طوله حوالى 3 سم، وعرضه 1.5 سم، وسمكه 1 سم. تُسمى كبسولته، مثل كبسولة الخصية، الغلالة البيضاء)tunica albuginea(. ينقسم داخل المبيض إلى النخاع المركزى و القشرة الخارجية)الشكل 28.2(، دون وجود حد فاصل واضح بينهما. النخاع هو نواة من النسيج الضام الليفى يشغلها أكبر الشرايين والأوردة داخل المبيض. القشرة هى موقع العديد من آلاف الجريبات المبيضية)فى الإناث الصغيرات(.

تتكون الجريبة من كتلة كروية من خلايا جريبية صغيرة تحيط ببويضة واحدة. مع نضوح الجريبة، تتطور كبسولة حولها، وتصبح الخلايا الجريبية متعددة الطبقات، ويتكون تجويف مملوء بالسائل فى المركز. لا يحتوى المبيض على نظام أنابيب مثل الخصية؛ تُطلق البويضات واحدة تلو الأخرى بانفجار الجريبات)الإباضة(. فى مرحلة الطفولة، تكون المبايض ذات سطح أملس. خلال سنوات الإنجاب، تصبح أكثر تجعدًا لأن الجريبات النامية بمراحل عمرية مختلفة تُنتج نتوءات على السطح. بعد انقطاع الطمث، تصبح المبايض منكمشة وتتكون فى الغالب من نسيج ندبى.

[1] *ov* = بويضة؛ *ary* = مكان لـ



APR الشكل 28.1 الجهاز التناسلى الأنثوى. قارن الصورة فى الأطلس B، الشكل B.14b.

ويقترب من القطب الوسيط. الشريان المبيضى هو المعادل الأنثوى لشريان الخصية الذكرى، وينشأ عالياً من الأبهر ويسير نزولاً على جدار الجسم الخلفى إلى الغدة التناسلية. تتصل الشرايين المبيضية والرحمية على طول هامش المبيض وتفرز عدة شرايين صغيرة تدخل المبيض من ذلك الجانب. كما تمر الأوردة المبيضية والأوعية اللمفاوية والأعصاب عبر الرباط المعلق. تتبع الأوردة والأوعية اللمفاوية مسارات مشابهة لتلك الموضحة للخصيتين فى الفصل 27.

قنوات الرحم

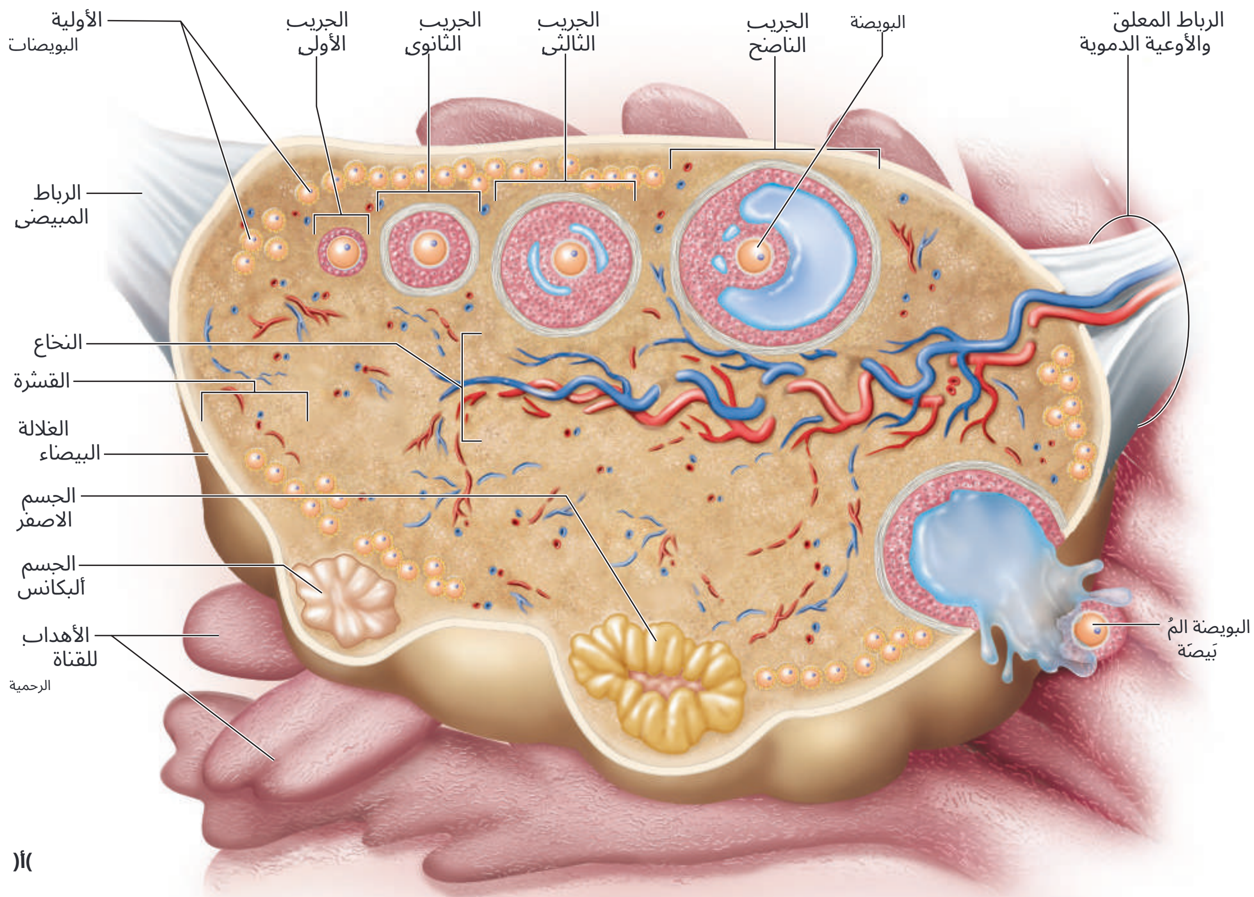
قنوات الرحم، وتسمى أيضاً قنوات البيض أو قنوات فالوب، هى قنوات يبلغ طولها حوالى 10 سم تمتد من كل مبيض إلى الرحم. فى الطرف البعيد)المبيضى(، تتسع القناة إلى شكل بوقى يسمى القمع مع نتوءات ريشية تسمى الأهداب)FIM-bree-ee(؛ الجزء الأوسط والأطول من القناة هو

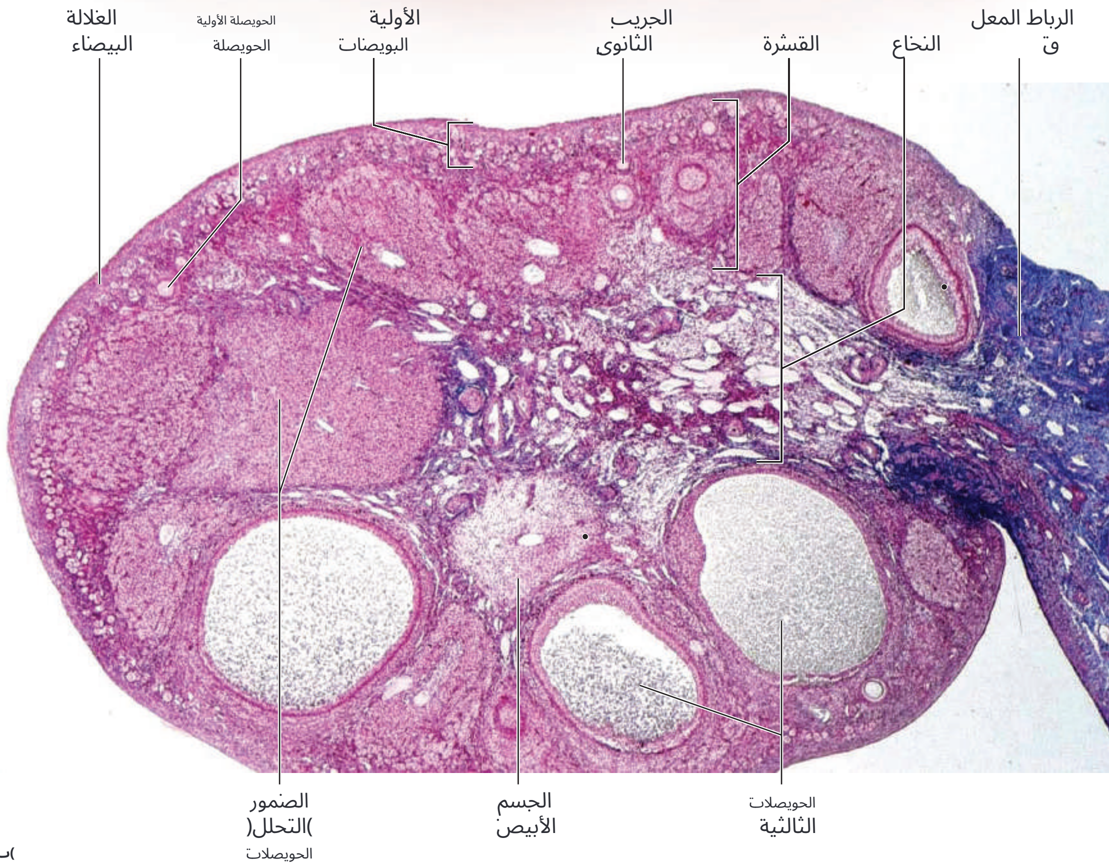
تثبت عدة أربطة من النسيج الضام المبايض وباقى الأعضاء التناسلية الداخلية فى مكانها)الشكل 28.3(. يرتبط القطب الوسيط للمبيض بالرحم بواسطة الرباط المبيضى ويرتبط قطبه الجانبى بجدار الحوض بواسطة الرباط المعلق. يتم تثبيت الهامش الأمامى للمبيض بواسطة طية بريتونية تسمى المساريق المبيضية.[2] يمتد هذا الرباط إلى ورقة من الغشاء البريتونى تسمى *الرباط العريض*، الذى يحيط بالرحم ويغلف قناة الرحم عند هامشها العلوى. إذا تخيلت هذه الأربطة على شكل حرف T جانبى، فإن الشريط العمودى سيمثل الرباط العريض الذى يحيط بالرحم ويغلف قناة الرحم عند نهايتها العلوية، والشريط الأفقى سيمثل المساريق المبيضية التى تغلف المبيض عند نهايته الحرة.

يستقبل المبيض الدم من شريانين: الشريان المبيضى، الذى يمر عبر الرباط المعلق ويقترب من القطب الجانبى للمبيض، و الفرع المبيضى من الشريان الرحمى، الذى يمر عبر المساريق المبيضية.

[3] جابرييل فالوبيو)1523–62(، عالم التشريح والطبيب الإيطالى
[4] *القمع* = قمع
[5] *الحافة* = هامش

[2] *الوسط* = وسط؛ *المبيض* = مبيض





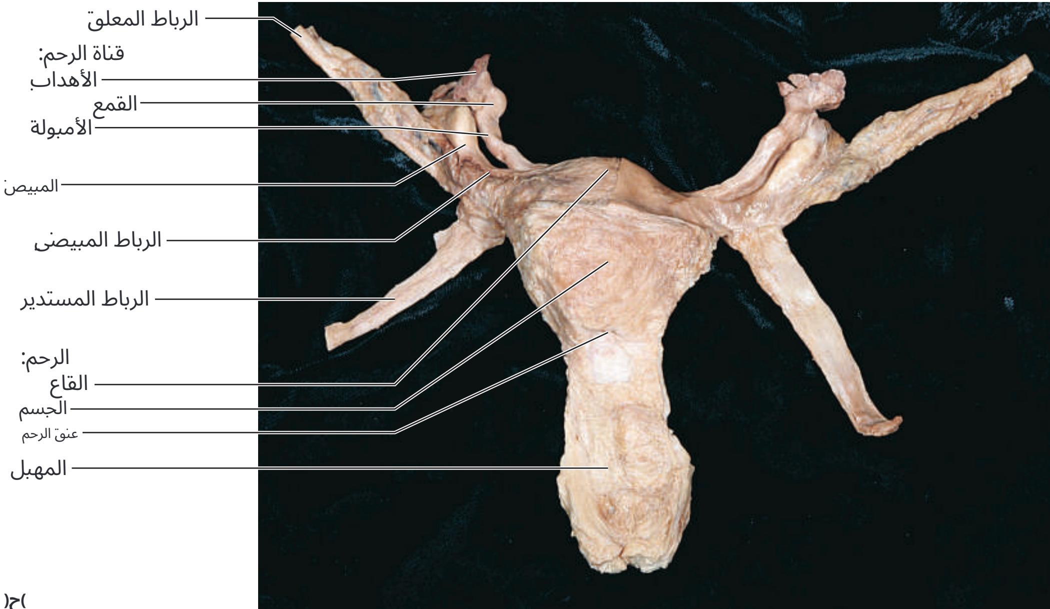
الشكل 28.2 هيكل المبيض.)أ(تشريح المبيض. الحويصلات غير مرسومة على مقياس؛ فى الواقع، الحويصلة الناضجة فى الأعلى والحويصلة التى تبيض فى ا لأسفل إلى اليمين لها أقطار تقارب طول المبيض الكامل البالغ 3 سم، من الرباط المبيضى إلى الرباط المعلق، وتبرز من سطح المبيض مثل بثور ضخمة.)ب(صورة مقطع وسطى للمبيض. البويضات غير مرئية فى معظم الحويصلات لأنها لم تقع ضمن مستوى المقطع.

APR

ب: فيكتور ب. إيروسشينكو

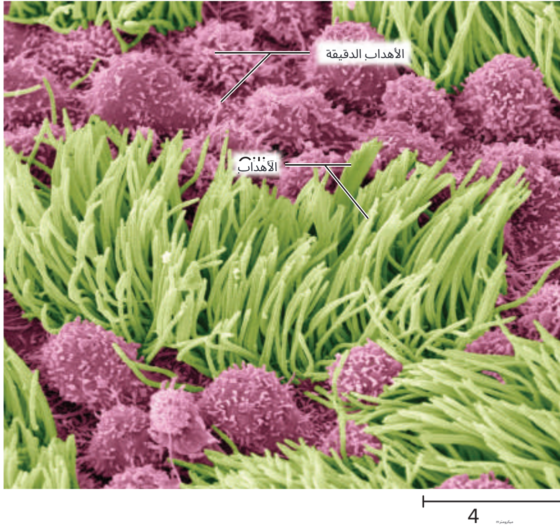
قناة الرحم
الرباط العريض:
المسوفيراريوم
المسوسالبينكس
المبيض
الميسوميتريوم
)ب(

القمع
الأمبولة
البرزخ
قاع الجسم
الرباط المبيضي
الميسوسالبينكس
قناة الرحم
الشريان المبيضي
الوريد المبيضي
الرباط المعلق
الأهداب
المبيض
البيريميتريوم
الميسوميتريوم
عضلة الرحم
بطانة الرحم
الفتحة الداخلية
الرباط المستدير
قناة عنق الرحم
الرباط العريض
قبو المهبل
عنق الرحم
الرباط الأساسي
الفتحة الخارجية
المهبل
الرباط الرهلي
)أ(



الشكل 28.3 الجهاز التناسلي الأنثوي والأربطة الداعمة.)أ(منظر خلفي للجهاز التناسلي.)ب(علاقة قناة فالوب والمبيض بالأربطة الداعمة.)ح(منظر أمامي للأعضاء التناسلية الأنثوية الرئيسية من جثة. APR

ح: ريبيكا غراي/ماكجرو هيل



الشكل 28.4البطانة الطهارية لأنبوب الرحم.تُطهر الخلايا الإفرازية باللون البن فسجى، وأهداب الخلايا المهدبة باللون الأخضر)المجهر الإلكترونى الما سح(. APR

ما الغرض من هذه الأهداب؟

مكتبة صور العلوم / صورة ألامى

الأمبولة؛وقرب الرحم يشكل ضيقا أضيق يسمىالبرزخ.
أنبوب الرحم ملفوف فىالميسوسالبينكس[6]ميزو-سال-بينكس(، وهو الحافة العلوية للرباط العريض.
جدار أنبوب الرحم مزود جيدًا بالعضلات الملساء. مخاطيته مطو ية بشكل كبير إلى نتوءات طولية ولها طهارة من خلايا مهدبة وعدد أق ل من الخلايا الإفرازية)الشكل 28.4(.تضرب الأهداب باتجاه الرحم، و بمساعدة انقباضات عضلية للأنبوب، تنقل البويضة فى ذلك الاتجاه.

الرحم

الرحم[7]هو تجويف عضلى سميك يفتح فى سقف المهبل)انظر الشك ل 28.1(. وظيفته هى احتضان الجنين، تغذيته، وطرده فى نهاية تطور ه. له شكل يشبه الكمثرى إلى حد ما، مع تقوس علوى عريض يسمىا لقاع،وجزء متوسط يسمىالجسم،ونهاية أسطوانية سفلية تسمىعنق ا لرحم)الشكل 28.3(. يبلغ طول الرحم حوالى 7 سم من عنق الرحم إلى ا لقاع، وعرضه 4 سم فى أوسع نقطة عند القاع، وسمكه 2.5 سم، لكنه يكون أكبر قليلاً عند النساء الحوامل سابقًا.

عادةً ما يميل الرحم غير الحامل والساكن إلى الأمام فوق المثانة البول ية)الوضع *الأمامى المائل* (. ومع ذلك، فى حالة واحدة من كل 6 إلى 10 نساء، يقف الرحم عمودياً أو يميل إلى الخلف نحو العجز) *الرحم ال مائل للخلف* (. وتُسمى الأنواع القائمة والمائلة للخلف أيصًا بالعامية *ا لرحم المائل* . نادرًا ما يسبب هذا مشاكل، لكنه قد يؤدى أحياناً إلى م ضاعفات أثناء الحمل والولادة. كما يقف الرحم مؤقتًا فى وضع قائم أ ثناء النشوة الجنسية لدى الأنثى)انظر الشكل 28.17(.
تجويف الرحم تقريبا مثلث الشكل، مع فتح زواياه العلوية إلى أنا بيب الرحم. فى الرحم غير الحامل

لا يكون تجويف الرحم فى الحالة غير الحامل تجويفًا فارغًا بل هو *مسا حة محتملة؛* حيث تُضغط الأغشية المخاطية للجدران المقابلة على بعضها البعض مع وجود مساحة ضيقة بينهما. يتصل التجويف بالمه بل عبر ممر ضيق يمر عبر عنق الرحم يسمى القناة العنقية. الفتحة ا لعلوية لهذه القناة فى جسم الرحم تسمى *الفوهة الداخلية* [8])تُنطق "أو ز" أو "أوزى"(وفتحتها فى المهبل تسمى *الفوهة الخارجية.*

تحتوى القناة على غدد عنقية تفرز المخاط، والذى يُعتقد أنه يمنع ان تشار الكائنات الدقيقة من المهبل إلى الرحم. قرب وقت الإباضة، ى صبح المخاط أرق من المعتاد ويسمح بمرور أسهل للحيوانات المنوية.

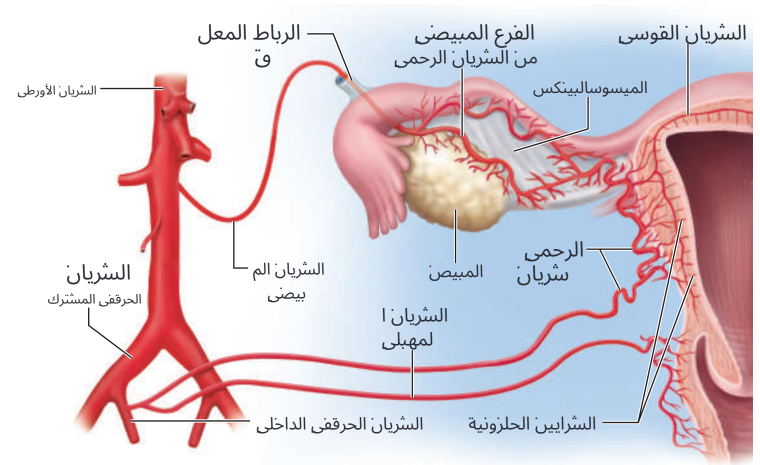
جدار الرحم يتكون جدار الرحم من ثلاث طبقات. الطبقة الخارجية، ال بريمتريوم، هى سيروز رقيقة من طهارة حرشفية بسيطة ونسيج ضام رخو.
الطبقة الوسطى والأكثر سمكًا هى الميوميتريوم، [9]بسمك حوالى 1.25 سم فى الرحم غير الحامل. تتكون بشكل رئيسى من حزم من ال عضلات الملساء التى تمتد نزولًا من القاع وتلتف حول جسم الرحم. ا لميوميتريوم أقل عضلية وأكثر ليفية بالقرب من عنق الرحم؛ وعنق الر حم نفسه يتكون تقريبًا بالكامل من الكولاجين وليس عضليًا. خلايا الع ضلات فى الميوميتريوم يبلغ طولها حوالى 40 ميكرومتر مباشرة بعد ا لحيض، لكنها تصبح ضعف هذا الطول فى منتصف دورة الحيض)قر ب وقت الإباضة(وعشرة أضعاف هذا الطول أثناء الحمل. وظيفة الم يوميتريوم هى إنتاج تقلصات الولادة التى تساعد على طرد الجنين.

الطبقة الداخلية هى مخاطية تسمى البطانة الرحمية)الإندومتر(.[10]تحتوى على طهارة عمودية بسيطة، وغدد أنبوبية مركبة)متفرعة(، و طبقة لامينا بروبيا تحتوى على كريات دم بيضاء، والبلاعم، وخلايا أخرى)انظر الشكل 28.5(. تصل نسبة الخلايا الطهارية المهدبة إلى 20% ح سب مرحلة دورة الحيض.
تُعد هذه الأهداب مهمة فى نقل الحيوانات المنوية)انظر الفصل 29(. النصف السطحى إلى الثلثين من هذه الطبقة، المسمى الطبقة الوظ يفية)الطبقة الوظيفية(، يتم تساقطه فى كل فترة حيض. الطبقة الأع مق الطبقة القاعدية)الطبقة القاعدية(تبقى وتُجدد طبقة وظيفية جد يدة فى الدورة التالية)انظر الشكل 28.16(. عند حدوث الحمل، تكون ا لبطانة الرحمية موقع ارتباط الجنين وتشكل الجزء الأمومى من *المش يمة* التى يتغذى منها الجنين.

الأربطة الرحمية والغشاء البريتونى يدعم الرحم أرضية الحوض العضلية وطيات الغشاء البريتونى التى تشكل أربطة داعمة حول العضو، كما ه و الحال فى المبيض وقناة الرحم)انظر الشكل 28.3أ(. يحتوى الرباط ا لعريض على جزأين: الميزوسالبينكس المذكور سابقًا و الميزوميتريو م على كل جانب من الرحم. يدعم عنق الرحم والجزء العلوى من المه بل الأربطة الرئيسية)الأربطة العنقية الجانبية(الممتدة إلى جدار الحو ض. يرتبط زوج من الأربطة الرحمية العجزية بالجانب الخلفى للرحم إ لى العجز، وينشأ زوج من الأربطة الدائرية من السطح الأمامى للرحم، ويمر عبر القنوات الإربية وينتهى فى الشفرين الكبيرين، تمامًا مثل الح بل المنوى)gubernaculum(فى الخصية الذى ينتهى فى الصفن.

[6]ميزو = المساريق؛ *سالبين* = البوق
[7]*الرحم* = الرحم

[8]*os* = الفم
[9]*myo* = عضلة؛ *metr* = الرحم
[10]*endo* = داخل؛ *metr* = الرحم



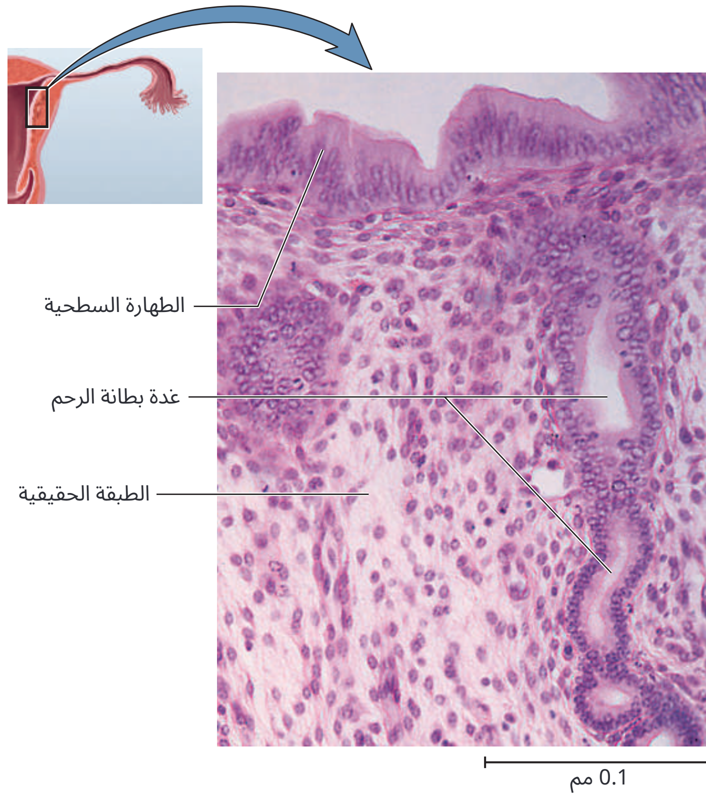
الشكل 28.6 إمداد الدم للجهاز التناسلى الأنثوى.
تم تضخيم طول الشرايين المهبلية والرحمية والمبيضية بسبب منظور الرسم، مما حرك الشريان الأورطى بعيدًا عن الرحم لتوضيح أفضل.

من الطبقة الخارجية)النسيج المحيط(، والطبقة الوسطى العضلية، والطبقة الداخلية المخاطية.
يميل المهبل إلى الخلف بين الإحليل والمستقيم؛ الإحليل مرتبط بجدار المهبل الأمامى. لا يحتوى المهبل على غدد، لكنه يزلق بواسطة تسرب السائل المصلى عبر جدرانه *)الترشيح(* وبواسطة المخاط من غدد عنق الرحم أعلاه.
يمتد المهبل قليلاً إلى ما وراء عنق الرحم على شكل كيس أعمى يُسمى *القبو*[13])انظر الأشكال 28.1، 28.3أ(.
النهاية السفلية للمهبل تحتوى على نتوءات احتكاكية عرضية، أو تجاعيد المهبل)ROO-jee(، التى تساهم فى تحفيز كل من الذكر والأنثى أثناء الجماع. عند فتحة المهبل، تنطوى الغشاء المخاطى إلى الداخل ويشكل غشاءً، الغشاء البكارة، الذى يمتد عبر الفتحة. يحتوى الغشاء البكارة على فتحة أو أكثر للسماح بخروج سائل الحيض. غالبًا ما يتمزق خلال الطفولة أو المراهقة بسبب النشاط البدنى العادى، أو استخدام السدادات القطنية، أو الفحص الطبى باستخدام المنظار، أو قد يتمزق فى أول عملية جماع.

الطهارة المهبلية تكون مكعبة بسيطة فى مرحلة الطفولة، لكن هرمونات الإستروجين فى فترة البلوغ تحولها إلى طهارة حرشفية متعددة الطبقات. هذا مثال على *التحول النسيجى*، وهو تحول نوع نسيج إلى آخر. خلايا الطهارة غنية بالجليكوجين.
تقوم البكتيريا بتخمير هذا إلى حمض اللاكتيك، مما ينتج عنه حموضة مهبلية منخفضة)حوالى 3.5–4.0(تمنع نمو الممرضات. يتم تحييد هذه الحموضة بواسطة السائل المنوى حتى لا تضر بالحيوانات المنوية.
يحتوى الغشاء المخاطى أيضًا على خلايا شجرية مقدمة للمستضدات، التى تساعد فى المناعة عند هذه الفتحة الجسدية، ولكن للأسف هى أيضًا طريق يمكن من خلاله لفيروس نقص المناعة البشرية أن يغزو جسم الأنثى.

طبق ما تعرفه
لأى سبب وظيفى تعتقد أن الطهارة المهبلية تغير نوعها عند البلوغ؟ من بين جميع أنواع الطهارة التى قد تتحول إليها، لماذا تكون حرشفية متعددة الطبقات؟

[3] القبو = قوس، قبو



APR الشكل 28.5 الطبقة الوظيفية لبطانة الرحم.
إد ريشكى

عندما يطوى الصفاق حول الأعضاء الحوضية المختلفة، يخلق عدة تجاويف ونهايات مغلقة)امتدادات لتجويف الصفاق(. اثنان رئيسيان هما *الجيب المثانى الرحمى*[1]، الذى يشكل المساحة بين الرحم والمثانة البولية، والجيب المستقيمى الرحمى بين الرحم والمستقيم)انظر الشكل 28.1(.

إمداد الدم إمداد الدم الرحمى مهم بشكل خاص لدورة الحيض والحمل. ينشأ الشريان الرحمى من كل شريان الحرقفة الداخلى ويسير عبر الرباط العريض إلى الرحم)الشكل 28.6(. يعطى عدة فروع تخترق العضلة الرحمية وتؤدى إلى الشرايين القوسية. كل شريان قوسى يسير فى دائرة حول الرحم ويتصل بالشريان القوسى فى الجانب الآخر. على طول مساره، ينبثق منه شرايين أصغر تخترق بقية العضلة الرحمية، إلى بطانة الرحم، وتعطى الشرايين الحلزونية.

تتلوى الشرايين الحلزونية بشكل متعرج بين غدد بطانة الرحم نحو سطح الغشاء المخاطى)انظر الشكل 28.16(. تنقبض وتتوسع بشكل إيقاعى، مما يجعل الغشاء المخاطى يتغير بين الشحوب والاحمرار بالدم.

المهبل

المهبل[2] هو أنبوب طوله حوالى 8 إلى 10 سم يسمح بخروج سائل الحيض، واستقبال القضيب والسائل المنوى، وولادة الطفل. جدار المهبل رقيق لكنه يتمدد بسهولة. يتكون

[1] المثانة = المثانة
[2] المهبل = الغلاف



نظرة أعمق 28.1

التطبيق السريرى

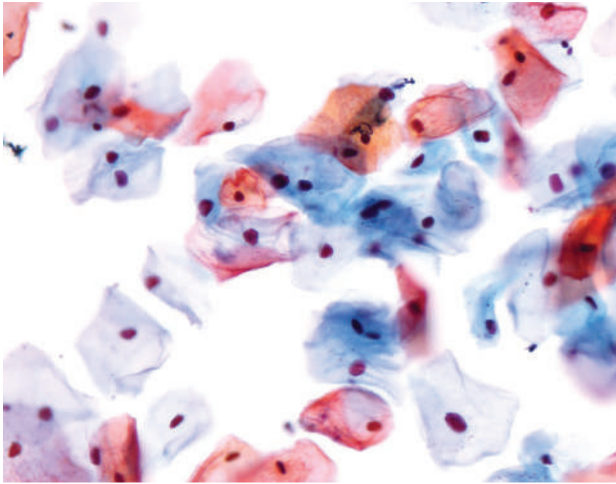
مسحات باب والسرطان العنقى

عادةً ما يحدث سرطان عنق الرحم بين سن 30 و50، خاصةً فى النساء المدخنات، اللواتى بدأن النشاط الجنسى فى سن مبكرة، واللواتى لديهن تاريخ من الأمراض ا لمنقولة جنسيًا المتكررة أو التهاب عنق الرحم. ينجم فى الغالب عن فيروس الورم ا لحليمى البشرى (HPV)، وهو مسبب مرض ينتقل جنسيًا (انظر نظرة أعمق 27.5) . يبدأ سرطان عنق الرحم عادةً فى خلايا الطهارة فى الجزء السفلى من عنق الرحم، ويتطور ببطء، ويبقى آفة محلية يمكن إزالتها بسهولة لعدة سنوات. ومع ذلك، إذا ا نتشرت الخلايا السرطانية إلى النسيج الضام تحت الطهارى، يُقال إن السرطان غزو ى وقد يكون مهددًا للحياة.

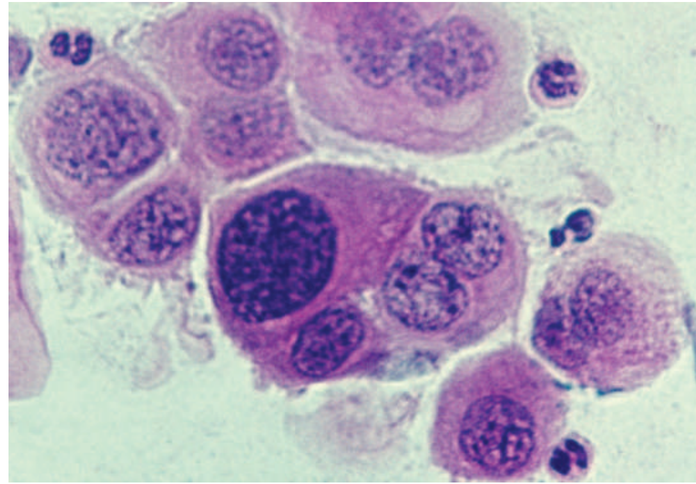
بعد الواقيات الذكرية، أفضل حماية ضد سرطان عنق الرحم هى الكشف المبكر عن طريق إجراء مسحة باب[14] — وهى إجراء يتم فيه إزالة خلايا سائبة من عنق الرحم والمهبل باستخدام عصا مسطحة صغيرة وفرشاة عنق الرحم، ثم تُفحص تحت المجهر. يبحث أخصائى الأمراض عن خلايا تظهر علامات خلل التنسج (تطور غير طبيعى) أو سرطان (الشكل 28.7).
يُصنف أحد أنظمة تقييم مسحات باب النتائج غير الطبيعية إلى أربع فئات—ASC US (خلايا حرشفية غير نمطية ذات دلالة غير محددة) وثلاثة مس تويات CIN (تغيرات داخل الطهارة العنقية). تُقيّم النتائج وفقًا للمقياس التالى، ويتم التخطيط للمراقبة أو العلاج بناءً عليه:

التغيرات الخلوية الخفيفة المرتبطة عادة بفيروس الورم الحليمى البشرى (CIN I)
التغيرات الخلوية المتوسطة مع آفات ما قبل السرطان (CIN II)
التغيرات الخلوية الشديدة (CIN III)، السرطان الموضعى (سرطان ما قبل الغزو لخلايا السطح)

تقييم ASCUS أو CIN I يتطلب إعادة اختبار مسحة عنق الرحم وفحص بصرى لعنق الرحم (التنظير المهبلى) خلال 3 إلى 6 أشهر. أما CIN II فيتطلب خزعة، غالبًا ما تُجرى باستخدام "المشرط الكهربائى" فى إجراء يسمى LEEP (إجراء الاستئصال الكهربائى الحلقى). يتم إزالة مخروط من الأنسجة لتقييم عمق غزو الخلايا الخبيثة أو ما قبل الخبيثة. هذا الإجراء قد يكون علاجياً إذا كانت جميع حواف العينة طبيعية، مما يشير إلى إزالة جميع الخلايا غير الطبيعية. قد يستدعى CIN III العلاج الإشعاعى أو استئصال الرحم[15] (إزالة الرحم).
من سن 21 إلى 65 عامًا، يُنصح النساء بإجراء مسحة عنق الرحم كل 3 سنوات. لا يُنصح بإجراء مسحات عنق الرحم قبل سن 21 أو بعد 65.



(أ) خلايا طبيعية



(ب) خلايا خبيثة (CIN III)

الشكل 28.7 مسحات عنق الرحم. هذه مسحات لخلايا الطهارة الحرشفية المأخوذة من عنق الرحم. (أ) خلايا طبيعية. لاحظ صغر النوى وحجم السيتوبلازم الكبير. (ب) خلايا خبيثة (CIN III). لاحظ تضخم النوى بشكل كبير ونسبة أقل من السيتوبلازم.

أ: خوسيه لويس كالفو/Shutterstock؛ ب: بارفيز م. بور/Science Source

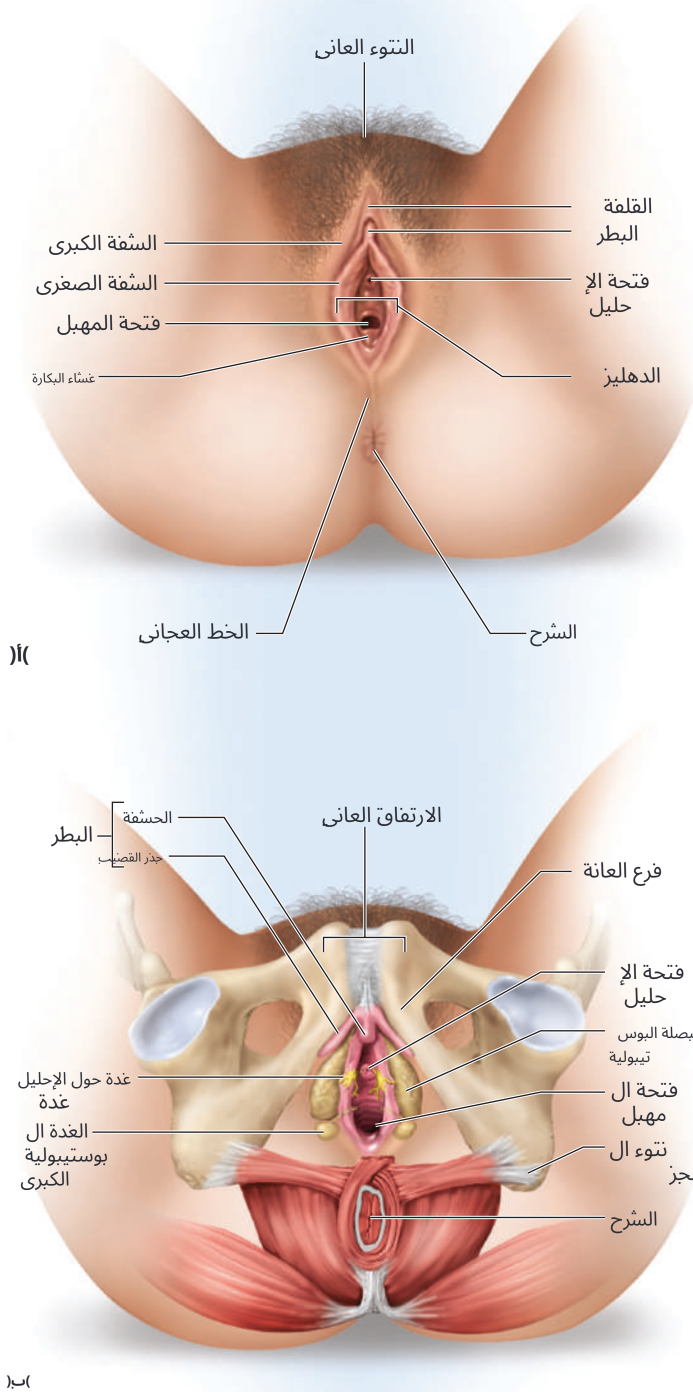
التوليد ودعم الأعضاء التناسلية الداخلية (انظر القسم 10.3د والشكل 10.21).
تتكون العانة[18] بشكل رئيسى من نتوء أمامى من الأنسجة الدهن ية التى تغطى الارتفاق العانى، وتحمل معظم شعر العانة (انظر الشكل A.3a فى الأطلس A). الشفرتان الكبيرتان[19] (المفرد، الشفرة ال كبرى) هما زوج من الطيات السميكة من الجلد والأنسجة الدهنية أس فل العانة؛ الفتحة بينهما هى الشق العانى. *ينمو شعر العانة على الأ سطح الجانبية للشفرتين الكبيرتين عند البلوغ، لكن الأسطح الوسطية تبقى خالية من الشعر. إلى الوسط من الشفرتين الكبيرتين توجد* ال شفرتان الصغيرتان الأرق بكثير والخاليتان تمامًا من الشعر.

الأعضاء التناسلية الخارجية

تشغل الأعضاء التناسلية الخارجية معظم منطقة العجان وتكون متمركزة تُسمى مجتمعة الفرج[16] أو العانة؛[17] وتشمل العانة، الشفران الكبيران والصغيران، البظر، فتحة المهبل، وغدد الملحقات والأنسجة الانتصابية (الشكل 28.8). هذه الهياكل- تقع التركيبات ضمن نفس الحدود التشريحية كما هو موصوف لـ العجان الذكري: الارتفاق العانى من الأمام، العصعص من الخلف- أماميًا، ونواتئ العجز جانبيًا. عضلات الحوض الأرضية فى هذه المنطقة مهمة بشكل خاص أثناء الحمل و

[14] جورج ن. بابانيكولاو (1883–1962)، طبيب وعالم خلايا يونانى-أمريكى
[15] هستير = الرحم؛ إكتومى = الاستئصال
[16] فرج = تغطية
[17] عورة = مخجل

[18] تلة = جبل
[19] شفاه = شفة؛ كبرى = أكبر، أعظم



الشكل 28.8 العجان الأنثوى.)أ(التشريح السطحى.)ب(الهياكل تحت الجلدية. APR

الغدة البروستاتية لدى الذكر متناظرة مع أى غدة)غدد(لدى الأنثى؟

الصغرى[20])المفرد، *الشفة الصغرى*(. المنطقة بينهما، المسماة الدهليز21 تحتوى على فتحات البول والمهبل.
البظر[22])CLIT-er-is, cli-TOR-is(مُبنى بطريقة مشابهة للقضيب فى نواحٍ كثيرة، لكنه لا يلعب دورًا فى التبول. على عكس ال قضيب، فهو داخلى تقريبًا بالكامل، ولا يحتوى على الجسم الإسفنجى، و لا يغطى الإحليل. فى الأساس، هو زوج من الجسم الكهفى المغلف بالنسيج الصام. رأسه، الحشفة، هى الجزء الوحيد المرئى خارجيًا. وهو مغطى جزئيًا بغطاء يشبه الغطاء القلفة حيث تلتقى الشفرتان الصغيرتان. يمر الجسم داخليًا، أسفل الارتفاق العانى)انظر الشكل 28.1(. عند نهايته الداخلية، ينقسم الجسم الكهفى على شكل Y كزوج من الساقين، التى، مثل تلك فى القضيب، تثبت البظر على كل جانب من قوس العانة. الدورة الدموية والتعصيب للبظر مشابهة جدًا للقضيب)انظر الفصل 27(.

البظر هو المركز الأساسى للتحفيز الجنسى الأنثوى، وهو مهم للأنثى فى هذا الصدد كما هو القضيب للرجل. ومع ذلك، بخلاف المتعة، فإن تحفيز البظر مهم أيضًا لتعزيز تخصيب البويضة. فهو يزيد من تدفق الدم إلى المهبل والترطيب ويسبب انتفاخ الجزء الداخلى من المهبل. هذا التأثير الأخير يؤخر انتقال الحيوانات المنوية حتى يهدأ الإثارة الجنسية لدى الأنثى، مما يسمح بحدوث تأثيرات تذيب السائل المنوى وتنشيط الحيوانات المنوية استعدادًا لهجرتها.
تمامًا تحت الشفرتين الكبيرتين، يوجد زوج من الأنسجة الانتصابية تحت الجلد تسمى البصيلات الدهليزية تحيط بالمهبل مثل الأقواس. على كل جانب من المهبل توجد غدة الدهليزية الكبرى)بارثولين[23](بحجم حبة البازلاء مع قناة قصيرة تفتح فى الدهليز أو الجزء السفلى من المهبل)الشكل 28.8ب(. هذه الغدد متناظرة مع الغدد البصلية الإحليلية لدى الذكر. تحافظ على رطوبة الفرج، وخلال الإثارة الجنسية توفر معظم الترطيب للجماع. كما يتم ترطيب الدهليز بواسطة عدد من الغدد الدهليزية الصغرى.
يفتح زوج من الغدد المخاطية حول الإحليل فى الدهليز بالقرب من فتحة الإحليل الخارجية. هذه متناظرة مع غدة البروستاتا لدى الذكر و تسمى أيضًا البروستاتا الأنثوية أو، سابقًا، غدد سكين24 . يتناول هذا الفصل لاحقًا وظائف هذه الأعضاء فى فسيولوجيا الجماع.

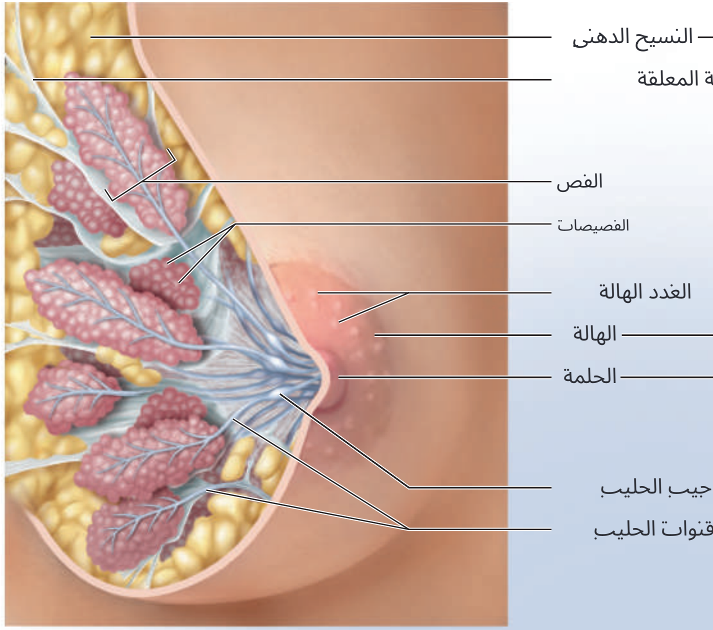
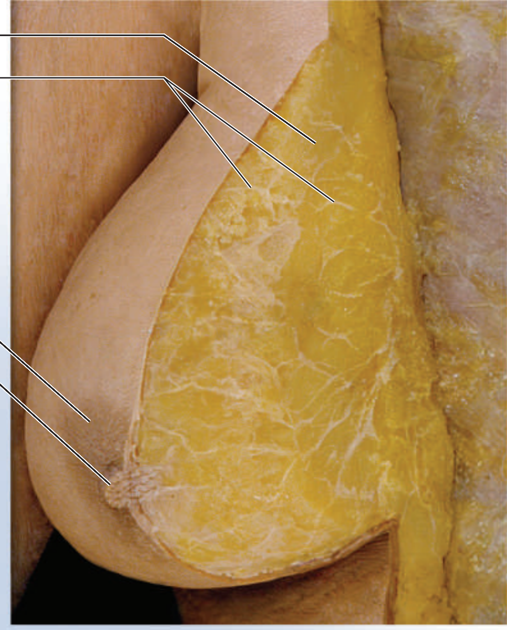
28.1ح الثدى والغدد الثديية

الثدى)الشكل 28.9(هو كتلة من النسيج تغطى عضلة الصدر الكبرى. يتضخم عند البلوغ ويظل كذلك طوال الحياة، لكن معظم الوقت يحتوى على كمية قليلة جدًا من الغدة الثديية. تتطور الغدة الثديية داخل الثدى أثناء الحمل، وتظل نشطة فى الثدى المرضع، وتضمحل عندما تتوقف المرأة عن الرضاعة.
لثدى الأنثى منطقتان رئيسيتان: الجسم المخروطى إلى المتدلى، مع الحلمة فى قمته، وتمديد نحو الإبط يُسمى الذيل الإبطى. الأوعية اللمفاوية فى الذيل الإبطى مهمة بشكل خاص كمسار لانتشار سرطان الثدى.
تحيط بالحلمة منطقة دائرية، الهالة، التى تكون عادةً أغمق من بقية الثدى بسبب زيادة تصبغ الميلانين فى الخلايا الكيراتينية البشرة. تقترب الشعيرات الدموية والأعصاب الجلدية هنا من السطح أكثر مما هى عليه فى الجلد المحيط، مما يبرز لون وحساسية الهالة. تزيد فترة الحمل من ترسيب الميلانين فى الهالة والحلمة، مما يجعلها "هدفًا" أكثر وضوحًا للرؤية غير الواضحة للرضيع أثناء الرضاعة.

تُعد الألياف العصبية الحسية فى الهالة مهمة فى تحفيز رد فعل قذف الحليب عند رضاعة الطفل. تحتوى الهالة على شعر خفيف وغدد هالة ، تظهر على شكل نتوءات صغيرة على السطح.
تقع هذه الغدد فى موقع متوسط بين غدد العرق والغدد الثديية من حيث درجة التطور. عند الرضاعة، تحمى إفرازات غدد الهالة والغدد الدهنية الهالة.

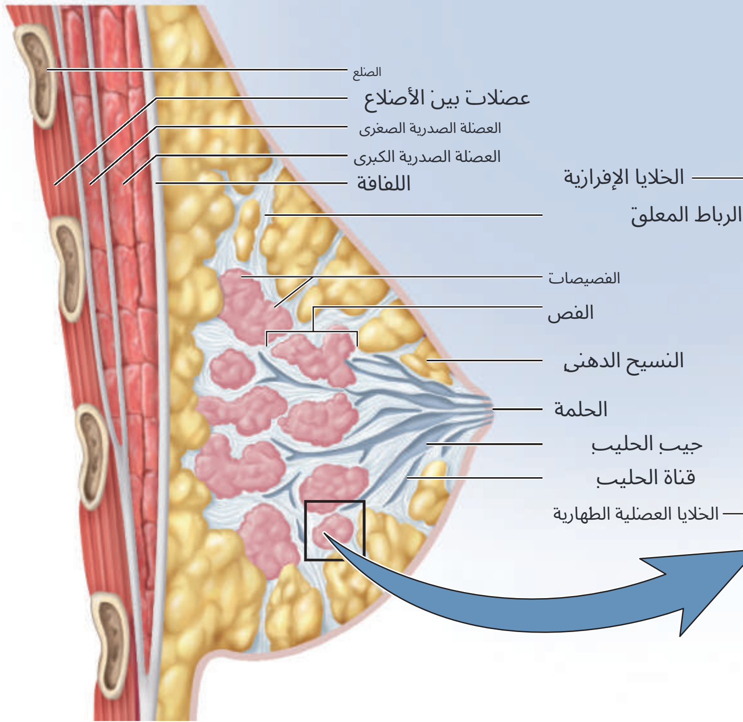
---

[20] صغير = أصغر، أقل
[21] دهليز = مدخل
[22] الأصل غير مؤكد؛ ربما من *kleis*= مفتاح الباب، أو *klei* + *ein* = الإغلاق
[23] كاسبر بارثولين)1655–1738(، عالم تشريح دنماركى
[24] ألكسندر سكين)1837–1900(، طبيب نسائى أمريكى

)أ(منظر أمامى، الثدى أثناء الرضاعة

)ب(ثدى جثة، غير مرضع





)ح(مقطع سهمى، الثدى أثناء الرضاعة

)د(الحويصلات الإفرازية، الثدى أثناء الرضاعة، تصوير المجهر الإلكترونى الماسح

الشكل 28.9 الثدى. الأجزاء)أ(،)ح(، و)د(تُظهر الثدى فى حالة الرضاعة. بعض الخصائص فى الأجزاء)أ(و)ح(غير موجودة فى الثدى غير المرضع فى الجزء)ب(. مجموعة الفصيصات المحاطة فى الجزء)ح(تحتوى على العديد من الحويصلات المجهرية مثل تلك الموجودة فى الجزء)د(. APR

ما وظيفة الخلايا العضلية الطهارية فى الجزء)د(؟

ب: جامعة توليدو/ماكجرو هيل؛ د: د. دونالد فوسيت/ساينس سورس

الذى يفتح على الحلمة. تتفرع كل قناة بشكل متكرر وتنتهى الفروع الدقيقة بأكياس تسمى الحويصلات. تُنظم الحويصلات فى مجموعات تشبه العنب)الفصيصات(داخل كل فص من فصوص الثدى. يتكون كل حويصلة من كيس من الخلايا الإفرازية المخروطية مرتبة حو ل تجويف مركزى)انظر الشكل 5.30(. تحيط بالحويصلة شبكة من ال خلايا العضلية الطهارية)الشكل 28.9د(. دورها فى إفراز الحليب والح وانب الأخرى للثدى المرضع موصوفة لاحقاً فى هذا الفصل.

سرطان الثدى

سرطان الثدى)الشكل 28.10(يحدث فى واحدة من كل ثمانى أو تسع نساء أمريكيات ويُعد أكثر أنواع السرطان شيوعًا وفتكًا بين النساء فى جميع أنحاء العالم. تبدأ أورام الثدى بخلايا قنوات الثدى وقد تنتشر إلى أعضاء أخرى عبر الأوعية اللمفاوية الثديية والإبطية. تشمل علامات سرطان الثدى وجود كتلة محسوسة)الورم(، تجعد الجلد، تغيرات فى نسيج الجلد، وإفرازات من الحلمة.

وحماية الحلمة من التشقق والتقشر. يحتوى الجلد الأدمة للهالة على ألياف عضلية ملساء تنقبض استجابة للبرد، واللمس، والإثارة الجنسية، مما يؤدى إلى تجعيد الجلد وقيام الحلمة. داخلياً، يتكون الثدى غير المرضع فى الغالب من نسيج دهنى ونسيج كولاجينى)الشكل 28.9ب(. حجم الثدى يتحدد بكمية النسيج الدهنى ولا علاقة له بكمية الحليب التى يمكن أن تنتجها الغدة الثديية. الأربطة المعلقة تربط الثدى بأدمة الجلد المغطى وباللفافة العضلية التى تحتها)العضلة الصدرية الكبرى(. على الرغم من أن الثدى غير المرضع يحتوى على نسيج غدى قليل، إلا أنه يحتوى على نظام من القنوات التى تتفرع عبر السدى الليفى وتتجمع عند الحلمة.

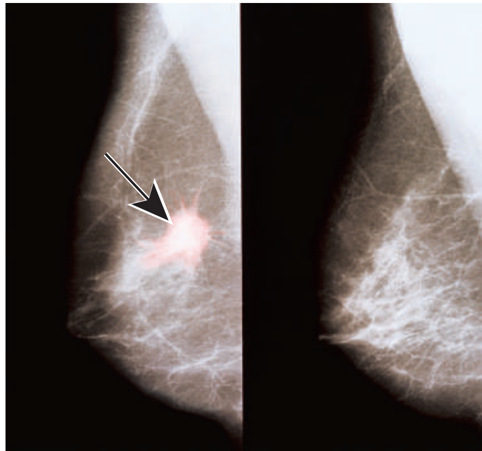
عندما تتطور الغدة الثديية أثناء الحمل، تظهر 15 إلى 20 فصاً مرتبة بشكل شعاعى حول الحلمة، مفصولة عن بعضها البعض بالسدى)الشكل 28.9أ(. يتم تصريف كل فص عن طريق قناة الحليب[25]، التى تتوسع لتشكل جيب الحليب

[25] *lact* = حليب؛ *fer* = يحمل


)ح(


)أ(


)د(


)ب(

الشكل 28.10 فحص وعلاج سرطان الثدى.)أ(فنى الأشعة يساعد مريضة فى تصوير الثدى الشعاعى.)ب(تصوير الثدى الشعاعى لثدى به ورم ظاهر عند السهم)يسار(، مقارنة بمطهر النسيج الصام الليفى الطبيعى للثدى)يمين(.)ح(المريضة بعد استئصال الثدى الأيمن.)د(نفس المريضة بعد إعادة بناء الثدى جراحياً.

APR

ما هى الفائدة التشخيصية لضغط الثدى أثناء تصوير الثدى الشعاعى؟

أ: رودا باير/المعهد الوطنى للسرطان)NCI(؛ ب: هيئة UHB/مكتبة الصور/Getty Images؛ ح-د: Biophoto Associates/Science Source

28.2

البلوغ وسن اليأس

النتائج التعليمية المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. اذكر الهرمونات التى تنظم وظيفة الجهاز التناسلى الأنثوى، وو ضح أدوارها؛

ب. وصف العلامات الرئيسية للبلوغ؛

ج. وصف التغيرات الهرمونية فى سن اليأس لدى الإناث وتأثيراتها؛ و

د. تعريف ووصف سن اليأس، والتمييز بين سن اليأس والمرحلة الانتقالية)الانقطاع الطمثى(.

البلوغ وسن اليأس هما تحولات فسيولوجية فى بداية ونهاية سنوات الإنجاب لدى الأنثى.

28.2أ البلوغ

يبدأ البلوغ فى سن 8 إلى 10 سنوات لمعظم الفتيات اللاتى يتمتعن بتغذ ية جيدة فى الدول الغنية، لكنه يحدث فى وقت لاحق بشكل ملحوظ فى ا لعديد من الدول. ومع ذلك، أظهرت دراسة عام 1997 شملت أكثر من 17 000 فتاة فى الولايات المتحدة أن 3% من الفتيات السود و1% من الفتيا ت البيض بدأن البلوغ بحلول سن 3، و27% و7% على التوالى بحلول سن 7. أصغر أم معروفة فى التاريخ كانت لينا ميدينا من بيرو، التى بدأت الدور ة الشهرية فى عمر 8 أشهر، وحملت فى عمر 4 سنوات، وأنجبت فى عمر 5 سنوات، فى عام 1939. يمكنكم العثور على قصتها عبر الإنترنت.

يتم تحفيز البلوغ بواسطة نفس هرمونات الوطاء والغدة النخامية لد ى الفتيات كما فى الأولاد)انظر القسم 27.3ب(، ولكن مع اختلاف مهم واحد. الدهون فى الجسم ضرورية لقدرة الأنثى على تحمل المتطلبات ال حرارية للحمل والرضاعة، لذلك لا تحدث الإباضة لدى الفتيات والنساء إ ذا كانت نسبة الدهون منخفضة جدًا. يجب أن تصل الفتاة إلى حوالى 17% دهون قبل أن تبدأ فى الإباضة والدورة الشهرية، وعادة ما تتوقف ال نساء البالغات إذا انخفضت نسبة الدهون لديهن عن 22%. هذا تكيف تطورى نابع من أوقات كان فيها التغذية الكافية ليست مضمونة، ويهد ف إلى حماية الإناث من حالات الحمل التى من المحتمل ألا تؤدى إلى و لادة ورضاعة ناجحة. كيف يعرف الدماغ ما إذا كانت مخزونات الدهون كافية للتكاثر؟ هرمون اللبتين، الذى تفرزه خلايا الدهون، يعمل كإشارة د هنية إلى الدماغ. إذا كان مستوى اللبتين منخفضًا جدًا، فإن الوطاء لا ى فرز هرمون مطلق لموجهة الغدد التناسلية)GnRH(. لذلك يتأخر البلوغ لدى الفتيات اللاتى يعانين من سوء التغذية، أو النحافة الشديدة، وأيضًا لدى الفتيات اللاتى لديهن نسبة دهون منخفضة بسبب النشاط البدنى ا لمكثف والمعتاد مثل الجمباز والباليه.قد تتوقف الإباضة والدورة الشهر ية حتى لدى النساء البالغات اللاتى يصبحن ناقصات الوزن.

ولكن إذا كانت مخزونات الدهون كافية، يرتفع مستوى GnRH فى أواخر الطفولة ويحفز الغدة النخامية الأمامية على إفراز هرمون تح فيز الجريبات)FSH(وهرمون اللوتين)LH(. FSH، على وجه الخصو ص، يحفز تطور الجريبات المبيضية، التى بدورها تفرز الإستروجينات، والبروجسترون، والإنهيبين، وكمية صغيرة من الأندروجينات. ترتفع م ستويات هذه الهرمونات تدريجيًا من سن 8 إلى 12 ثم بشكل أكثر حد ة فى أوائل سن المراهقة. الإستروجينات[26] هى هرمونات أنثوية ذات تأثيرات واسعة على الجسم. وتشمل الإستراديول)الأكثر وفرة(، *الا سترول*، و *الإسترون*. معظم التغيرات الظاهرة فى البلوغ ناتجة عن ا لإستراديول والأندروجينات.

[26] *estro* = الرغبة، الهياج؛ *gen* = الإنتاج

تم ربط جينين يُدعيان *BRCA1* و *BRCA2* ببعض حالات سرطان ا لثدى، وكذلك بعض الجينات النادرة التى ترمز لآليات إصلاح الحمض النووى، لكن معظم حالات سرطان الثدى ليست وراثية. بعض أورام الثدى تُحفز بواسطة الإستروجين. وبناءً عليه، فإن سرطان الثدى أكثر شيوعًا بين النساء اللاتى يبدأن الحيض فى وقت مبكر من الحياة ويصلن إلى سن اليأس فى وقت متأخر نسبيًا—أى النساء اللا تى لديهن فترة خصوبة طويلة وتعرض للإستروجين. معدل الإصابة ى تناقص فى الولايات المتحدة والعديد من الدول الغربية الأخرى، لكنه يرتفع فى أمريكا اللاتينية وروسيا وشرق آسيا بسبب تغييرات فى ال طام الغذائى، تناول مفرط للكحول والدهون، السمنة، التدخين، التعر ض للمواد المسرطنة، تأخر الإنجاب، زيادة متوسط العمر المتوقع، وا لإنكار—تأخير الاستشارة والعلاج الطبى. ومع ذلك، أكثر من 70% من ا لحالات لا تحتوى على عوامل خطر معروفة.

يتم اكتشاف غالبية الأورام خلال الفحص الذاتى للثدى)BSE(، وا لذى يجب أن يكون روتينيًا شهريًا لجميع النساء. التعليمات الخاصة بهذا متوفرة على نطاق واسع على الإنترنت. *صور المام وجرام*)أشعة الثدى(، مع ذلك، يمكنها اكتشاف أورام صغيرة جدًا لا يمكن م لاحظتها بواسطة الفحص الذاتى. بالرغم من اختلاف الآراء، فإن الجدول الز منى الموصى به عادة هو إجراء صورة ماموجرام أساسية عند سن 40 أو 50 ثم كل عامين حتى منتصف السبعينيات. يُعتبر الفحص السنوى أنه ينتج عنه الكثير من النتائج الإيجابية الكاذبة والخزعات غير الضرورية.

عادةً ما يتم علاج سرطان الثدى بواسطة *استئصال الورم*)إزالة الو رم فقط(أو *استئصال الثدى البسيط*)إزالة نسيج الثدى فقط أو نسيج الثدى وبعض العقد اللمفاوية الإبطية(. *الاستئصال الجذرى للثدى*، الذ ى اخترع فى أواخر القرن التاسع عشر ونادرًا ما يُجرى منذ عام 1985، كان يتضمن إزالة ليس فقط الثدى بل أيضًا العضلات واللفافة والعقد اللمفاوية تحتها. كان المفهوم وراء ذلك هو "اقتلاع" كل آثار السرطان) كلمة جذرى تعنى "جذر"(عن طريق بتر ليس فقط الثدى بل كل الأن سجة التى قد يكون السرطان قد انتشر إليها. لكن هذا كان قبل أن يدر ك أطباء الأورام أن السرطان لا ينتشر ببساطة من الورم الأساسى، بل ينتقل)ينتشر(عبر الجهاز اللمفاوى أو الدموى. بحلول الوقت الذى يُجر ى فيه الاستئصال الجذرى، يكون سرطان الثدى قد انتشر عادةً إلى أج زاء بعيدة من الجسم. الاستئصال الجذرى للثدى كان يشوه ويعطل الع ديد من النساء بشدة، لكنه لم يثبت أنه أكثر فعالية من الاستئصال ال بسيط أو استئصال الورم.

عادةً ما يتبع الجراحة العلاج الإشعاعى أو الكيميائى، وقد تُعالج الأ ورام الحساسة للإستروجين أيضًا بواسطة مانع للإستروجين مثل التام وكسيفين. يمكن غالبًا إعادة بناء ثدى ذو مظهر طبيعى باستخدام الجل د والدهون والعضلات من أجزاء أخرى من الجسم.

قبل أن تتابع

أجب أو أكمل ما يلى لاختبار فهمك للقسم السابق:

1. كيف يختلف موقع إنتاج الأمشاج الأنثوية وطريقة إطلاقها من الغدة التناسلية عن تلك فى الذكر؟
2. كيف يرتبط تركيب مخاط أنبوب الرحم بوظيفته؟
3. قارن بين وظيفة بطانة الرحم ووظيفة عضلة الرحم.
4. عدد الأنسجة والغدد القابلة للانتصاب تحت الجلد فى العجان الأ نثوى واذكر وظيفة كل منها.
5. ما هو الذيل الإبطى للثدى؟ ما هو فحص الثدى الذاتى)BSE(؟ ولماذا من المهم ألا يتجاهل فحص الثدى الذاتى الذيل الإبطى؟



نظرة أعمق 28.2

الطب التطورى

تطور انقطاع الطمث

كان هناك الكثير من التكهنات حول سبب عدم بقاء النساء خصبات حتى نهاية حياتهن، كما يفعل الرجال. يجادل بعض المنظرين بأن انقطاع الطمث كان له غرض بيولوجى لأمهاتنا البدائيات. يستغرق تربية النسل البشرى وقتًا طويلاً. بعد نقطة معينة، تجعل هشاشة الشيخوخة من غير المحتمل أن تتمكن المرأة من تربية رضيع آخر حتى النضج أو حتى البقاء على قيد الحياة من ضغط الحمل. قد يكون من الأفضل لها على المدى الطويل أن تصبح غير خصبة وتنهى تربية طفلها الأخير، أو تساعد فى تربية أحفادها، بدلاً من إنجاب المزيد. ستساعد استراتيجية الجدّة فى ضمان استمرار الجينات التى نقلتها إلى أطفالها. من هذا المنظور، كان انقطاع الطمث مفيدًا بيولوجيًا لأسلافنا — بعبارة أخرى، تكيف تطورى.

يجادل آخرون ضد هذه "فرضية الجدّة" على أساس أن هياكل عظام عصر البليستوسين)العصر الجليدى(تشير إلى أن البشر الأوائل نادرًا ما كانوا يعيشون بعد سن الأربعين. إذا كان هذا صحيحًا، فإن انقطاع الطمث الذى يحدث بين 45 إلى 55 عامًا قد لا يكون له فائدة كبيرة. من هذا المنظور، قد تكون نساء البليستوسين فعلاً خصبات حتى نهاية حياتهن؛ وقد يكون انقطاع الطمث الآن مجرد أثر جانبى للتغذية والطب الحديث، الذى جعل من الممكن لنا أن نعيش لفترة أطول بكثير مما عاشه أسلافنا.

يبدأ سن اليأس ليس فى عمر محدد، بل عندما يتبقى حوالى 1000 حريب فقط. حتى الجريبات المتبقية تكون أقل استجابة للغونادوتروبينات، لذا تفرز كمية أقل من الإستروجين والبروجسترون. بدون هذه الستيرويدات، يحدث ضمور فى الرحم والمهبل والثديين. قد يصبح الجماع غير مريح، وتزداد عدوى المهبل شيوعًا، حيث يصبح المهبل أرق وأقل تمددًا وأكثر جفافًا. تصبح البشرة أرق، وترتفع مستويات الكوليسترول)مما يزيد من خطر الأمراض القلبية الوعائية(، وتنخفض كتلة العظام)مما يزيد من خطر هشاشة العظام(. تتقلص الأوعية الدموية وتتوسع استجابة لتغير توازن الهرمونات، والتوسع المفاجئ فى شرايين الجلد غالبًا ما يسبب الهبات الساخنة — شعور منتشر بالحرارة من البطن إلى الصدر والرقبة والوجه، مصحوبًا بالتعرق. قد تحدث الهبات الساخنة عدة مرات فى اليوم، أحيانًا مصحوبة بالصداع الناتج عن التوسع المفاجئ فى شرايين الرأس. فى بعض الأشخاص، يسبب التغير فى الملف الهرمونى أيضًا تغيرات فى المزاج. يصف العديد من الأطباء العلاج بالهرمونات البديلة)HRT(— جرعات منخفضة من الإستروجين والبروجسترون عادةً تؤخذ عن طريق الفم أو عبر لصقة جلدية — لتخفيف بعض هذه الأعراض. تظل مخاطر وفوائد العلاج بالهرمونات البديلة موضوع نقاش.

▶▶▶ طبق ما تعرفه

ترتفع إفرازات FSH وLH فى سن اليأس وتصل هذه الهرمونات إلى تركيزات عالية فى الدم. اشرح ذلك باستخدام المعلومات السابقة وما تعرفه عن العلاقة بين الغدة النخامية والغدد التناسلية.

انقطاع الطمث هو توقف الدورة الشهرية، وعادةً ما يحدث بين سن 45 و55. وقد ارتفع متوسط العمر تدريجيًا فى القرن الماضى وبلغ الآن حوالى 52 عامًا. من الصعب تحديد وقت انقطاع الطمث بدقة لأن الدورات الشهرية قد تتوقف لعدة أشهر ثم تعود مرة أخرى. يُعتبر انقطاع الطمث قد حدث عندما لا تحدث دورة شهرية لمدة عام أو أكثر.

أول علامة ملحوظة على البلوغ عند الفتيات هى التلاركى[27])ثيل-آر-كى(، بداية تطور الثدى. تقوم الإستروجين، والبروجستيرون، والبرولاكتين فى البداية بتحفيز تكوين الفصيصات والقنوات فى الثدى. يكتمل تطور القنوات تحت تأثير الجلوكوكورتيكويدات وهرمون النمو، بينما تقوم الأنسجة الدهنية والليفية بتكبير الثدى. يكتمل تطور الثدى حوالى سن 20، لكنه يخضع لتغيرات طفيفة فى كل دورة شهرية وتغيرات كبيرة أثناء الحمل.

يتبع التلاركى قريبًا البوباركى)بيو-بار-كى(، ظهور شعر العانة والإبط، والغدد الدهنية، والغدد الإبطية. تحفز الأندروجينات من المبايض وقشرة الغدة الكظرية البوباركى وكذلك الرغبة الجنسية)الدافع الجنسى(. تفرز النساء حوالى 0.5 ملغ من الأندروجينات يوميًا، مقارنة بـ 6 إلى 8 ملغ/يوم عند الرجال.

بعد ذلك يأتى الميناركى[28])مين-آر-كى(، أول دورة شهرية. فى أوروبا وأمريكا، انخفض متوسط عمر الميناركى من 16.5 سنة فى عام 1860 إلى 12.5 سنة اليوم، ويرجع ذلك على الأرجح إلى تحسن التغذية، رغم أن العديد من العوامل الوراثية والجغرافية والعرقية الأخرى تدخل فى ذلك.

لا يعنى الميناركى بالضرورة الخصوبة. عادةً ما تكون الدورات الشهرية القليلة الأولى للفتيات *غير إباضية*)لا يتم إطلاق بويضة(. لا تبدأ معظم الفتيات فى الإباضة بانتظام إلا بعد عام أو أكثر من بدء الحيض. ويعكس هذا على الأرجح حقيقة، التى سيتم تفصيلها لاحقًا فى هذا الفصل، أن نضوج الجريبات المبيضية المنسّطة وإطلاق البويضة يستغرق حوالى 290 يومًا.

يحفز الإستراديول العديد من التغيرات الأخرى فى البلوغ. يسبب التغير النسيجى المهبلى الذى وُصف سابقًا. يحفز نمو المبايض والأعضاء الجنسية الثانوية. يحفز إفراز هرمون النمو ويسبب زيادة سريعة فى الطول واتساع الحوض. الإستراديول مسؤول إلى حد كبير عن الشكل الأنثوى لأنه يحفز ترسب الدهون فى العانة، والشفرتين الكبيرتين، والوركين، والفخذين، والأرداف، والثديين. يجعل جلد الأنثى أكثر سمكًا، لكنه يظل أرق وأنعم وأكثر دفئًا من جلد الذكور فى نفس العمر.

يعمل البروجستيرون[29] بشكل رئيسى على الرحم، حيث يهيئه لاحتمال الحمل فى النصف الثانى من كل دورة شهرية ويلعب أدوارًا فى الحمل سيتم مناقشتها لاحقًا. كما ينظم الإستروجين والبروجستيرون إفراز FSH وLH من خلال تثبيط سلبى للغدة النخامية الأمامية. الإنيبين ينظم إفراز FSH بشكل انتقائى.

لذا، نرى العديد من التشابهات الهرمونية بين الذكور والإناث من مرحلة البلوغ فصاعدًا. تختلف الجنسين أقل فى نوعية الهرمونات الموجودة وأكثر فى كمياتها النسبية—مستويات عالية من الأندروجينات ومستويات منخفضة من الإستروجين عند الذكور والعكس عند الإناث. فرق آخر هو أن هذه الهرمونات تُفرز بشكل مستمر ومتزامن إلى حد ما عند الذكور، بينما عند الإناث يكون الإفراز دوريًا بوضوح وتُفرز الهرمونات بالتتابع. سيكون هذا واضحًا جدًا عند قراءة دورات المبيض والحيض لاحقًا فى هذا الفصل.

28.2ب فترة انقطاع الطمث وسن اليأس

تمر النساء، مثل الرجال، بتغير فى إفراز الهرمونات فى منتصف العمر يُسمى الانقطاع الطمثى. عند النساء، يصاحب ذلك انقطاع الطمث، وهو توقف الحيض)انظر التعمق 28.2(.

تولد الأنثى وهى تحمل ما يصل إلى مليونى بويضة فى مبايضها، كل واحدة فى جريب خاص بها. وكلما تقدمت فى العمر، يقل عدد الجريبات المتبقية.

[27] *thel* = الثدى، الحلمة؛ *arche* = البداية
[28] الرجال = شهريًا؛ *arche* = البداية
[29] *pro* = مؤيد؛ *gest* = الحمل؛ *sterone* = هرمون ستيرويدى

يبدأ تكون البويضات قبل ولادة الفتاة. تنشأ الخلايا الجرثومية الأولى، كما هو الحال عند الذكر، من كيس المح في الجنين. تهاجر إلى الجنين وتستعمر التلال التناسلية في الأسابيع الخمسة إلى الستة الأولى من التطور، ثم تتمايز إلى البويضات الأولية (OH-oh-GO-nee-uh). تتكاثر الأوجونيا حتى الشهر الخامس، لتصل إلى ٦ إلى ٧ ملايين في العدد، ثم تدخل في حالة توقف في التطور حتى فترة قصيرة قبل الولادة. في ذلك الوقت، تتمايز إلى بويضات أولية وتصل إلى مرحلة بداية الانقسام الاختزالي الأول. جميعها تصل إلى هذه المرحلة عند الولادة؛ ولا تبقى بويضات بدائية بعد ذلك. يمكن أيضًا تسمية البويضة بالبيضة، أو البويضة الناضجة، في أي مرحلة تطورية من البويضة الأولية حتى وقت الإخصاب.

تخضع معظم البويضات الأولية لعملية تحلل تسمى الضمور (a h-TREE-zhee-uh) قبل ولادة الفتاة. البُصيلات التي تخضع للضمور تسمى بُصيلات ضامرة. يبقى حوالي 2 مليون بويضة عند الولادة؛ 90% منها تخضع للضمور خلال الطفولة، وبحلول سن البلوغ، يبقى حوالي 200,000 فقط. هذه هي مخزون الأمشاج مدى الحياة للأنثى، لكنها أكثر من كافية؛ حتى لو أطلقت بويضة واحدة كل 28 يومًا من سن 14 إلى 50، فإنها ستطلق فقط 480 بويضة. جميع البويضات الأخرى تخضع للضمور بين البلوغ وانقطاع الطمث.

يستأنف تطور البويضة في فترة المراهقة. كل شهر لمدة حوالي 30 سنة، باستثناء فترة الحمل، يتم تجنيد مجموعة (مجموعة تطورية) من حوالي 20 إلى 25 بُصيلة متوقفة لاستئناف التطور. (بعد 30 سنة من الإباضة، يصبح هذا العملية أكثر عدم انتظام، وعند انقطاع الطمث، تتوقف.) دورة الحيض التي تستمر 28 يومًا تخلق سوء فهم شائع بأن البويضات وبصيلات المبيض تحتاج 28 يومًا لتتطور من إباضة إلى أخرى. في الواقع، منذ تفعيل مجموعة البصيلات، يستغرق الأمر حوالي 290 يومًا حتى تنضج واحدة منها بالكامل وتطلق البويضة.

يكتمل الانقسام الاختزالي الأول في يوم الإباضة وينتج خليتين ابنتين—واحدة كبيرة تسمى البويضة الثانوية وواحدة أصغر بكثير تسمى الجسم القطبي الأول. قد يكمل الجسم القطبي بلا جدوى الانقسام الاختزالي الثاني، لكنه في النهاية يتحلل هو أو خلاياه الابنة. هو مجرد وسيلة للتخلص من مجموعة الكروموسومات الأحادية الزائدة. تستمر البويضة الثانوية حتى مرحلة الطور الاستوائي الثاني، ثم تتوقف. إذا لم تُخصب، تموت ولا تكمل الانقسام الاختزالي. إذا تم تخصيبها، تكمل الانقسام الاختزالي الثاني وتتخلص من جسم قطبي ثاني، الذي يتخلص من كروماتيد واحد من كل كروموسوم. ثم تتحد كروموسومات البويضة الكبيرة المتبقية مع تلك الخاصة بالحيوان المنوي. يتم مناقشة التطور الإضافي للبويضة المخصبة في الفصل التالي.

لاحظ التباين بين تكوين الحيوانات المنوية وتكوين البويضات. في تكوين الحيوانات المنوية، تعطي الخلية المنوية الأولية أربع حيوانات منوية متساوية الحجم. لكن في تكوين البويضات، تعطي البويضة الأولية بويضة ناضجة واحدة فقط؛ الثلاث خلايا الابنة الأخرى (على الأكثر) هي أجسام قطبية صغيرة تموت. في تكوين البويضات، من المهم إنتاج بويضة تحتوي على أكبر قدر ممكن من السيتوبلازم، لأنه إذا تم تخصيبها يجب أن تنقسم مرارًا وتنتج العديد من الخلايا الابنة. تقسيم كل بويضة إلى أربعة أجزاء متساوية ولكن صغيرة سيكون عكس هذا الهدف المتمثل في توفير ما يكفي من "المواد الخام" لتطور الجنين المبكر.

28.3ب تكوين الجريبات

أثناء خضوع البويضة لتكوين البويضات، يخضع الجريب المحيط بها لعملية تكوين الجريبات، مرورًا بالمراحل التالية.

1. الجريبات البدائية. الجريب البدائي يبلغ قطره حوالي 40 ميكرومتر. يتكون من بويضة أولية في بداية الانقسام الاختزالي،

قبل أن تتابع

أجب أو أكمل ما يلي لاختبار فهمك للقسم السابق:

6. وصف أوجه التشابه والاختلاف بين بلوغ الذكور والإناث.
7. وصف التغيرات الرئيسية التي تحدث في سن اليأس الأنثوي والسبب الرئيسي لهذه التغيرات.
8. ما الفرق بين سن اليأس (climacteric) وانقطاع الطمث (menopause)؟

28.3 تكوين البويضات ودورة الجنس APR

نتائج التعلم المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف عملية إنتاج البويضة (تكوين البويضات).
ب. وصف التغيرات في جريبات المبيض (تكوين الجريبات) بالنسبة لتكوين البويضات.
ج. وصف الأحداث الهرمونية التي تنظم دورة المبيض.
د. وصف كيفية تغير الرحم خلال دورة الحيض.
هـ. إنشاء مخطط لمراحل الدورة الجنسية الشهرية يوضح الأحداث الهرمونية والمبيضية والرحمية في كل مرحلة.

الحياة التناسلية للنساء دورية بشكل واضح. فهي تشمل دورة التناسل، التي تتضمن تسلسل الأحداث من الإخصاب إلى الولادة والعودة إلى حالة الخصوبة، و الدورة الجنسية، التي تشمل الأحداث التي تتكرر كل شهر عندما لا يحدث حمل. وتتكون الدورة الجنسية بدورها من دورتين مترابطتين تتحكمان فيهما أنماط متغيرة من إفراز الهرمونات: الدورة المبيضية، التي تتألف من الأحداث في المبايض، و الدورة الطمثية، التي تتضمن تغييرات موازية في الرحم.

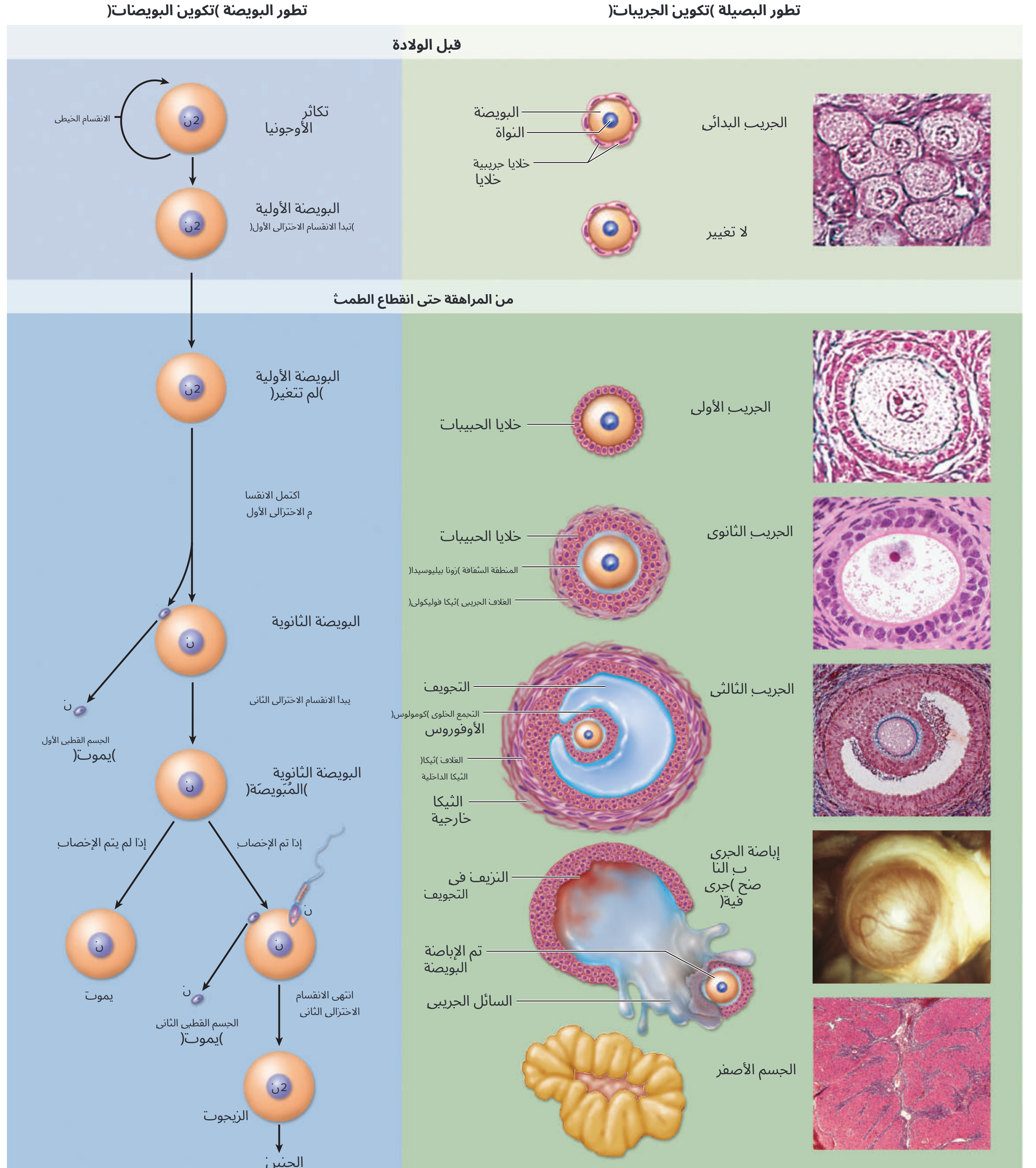
قبل أن نتعمق في دورة الجنس المألوفة التي تستمر 28 يومًا، دعونا ننظر إلى مراحل التطور التي تمر بها البويضات وبصيلاتها. ثم يمكننا دمج ذلك مع الهرمونات المسيطرة والإيقاع الشهري للإباضة والحيض.

28.3أ تكون البويضات

إنتاج البويضات يسمى تكوين البويضات[30] (OH-oh-JEN-eh-sis) (الشكل 28.11). مثل تكون الحيوانات المنوية، ينتج هذا العملية جاميت أحادي الصيغة الصبغية عن طريق الانقسام الاختزالي. ومع ذلك، هناك العديد من الاختلافات بين الاثنين. ربما يكون الأكثر وضوحًا هو أن الذكور تنتج الحيوانات المنوية باستمرار بمعدل حوالي 400 مليون يوميًا، في حين أن تكون البويضات هو حدث دوري مميز يطلق عادة بويضة واحدة فقط في الشهر. يرافق تكون البويضات تغيرات دورية في إفراز الهرمونات وفي التركيب النسيجي للمبيضين والرحم؛ تؤدي التغيرات في الرحم إلى تدفق الحيض الشهري.

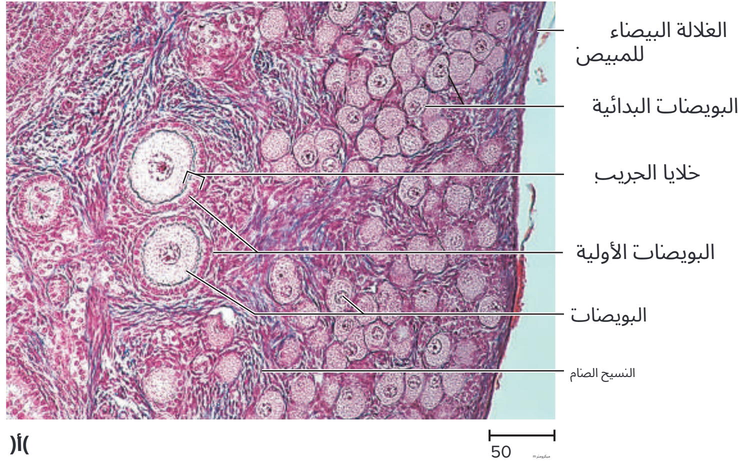
---

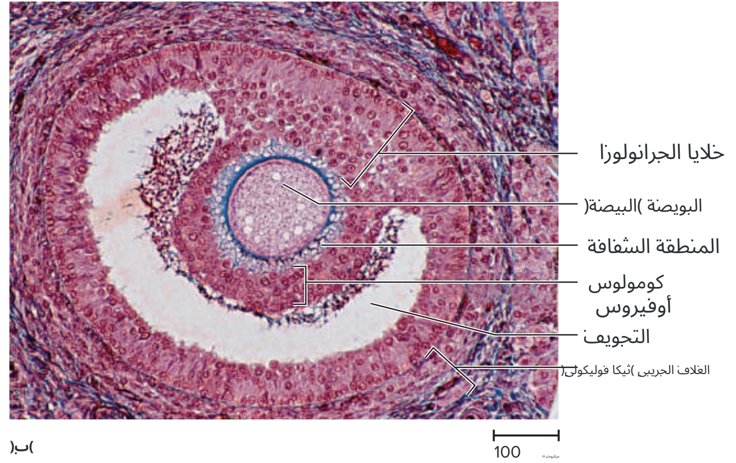
[30] *oo* = بيضة؛ *genesis* = إنتاج



APR الشكل 28.11 تكوين البويضات)يسار(والتطور المقابل للبصيلة)يمين(.

(1، 2): إد ريشكي/صور جيتي؛ (3): ألفين تيلسر/ماكجرو هيل؛ (4): إد ريشكي/ستون/صور جيتي؛ (5): الدكتور باتريس لانغلويس/CNRI/مصدر العلوم؛ (6): ألفين تيلسر/ماكجرو هيل





السشكل 28.12 جُريبات المبيض.)أ(لاحظ الطبقة الرقيقة جدًا من الخلايا الحرشفية حول البويضة فى الجريب البدئى، والطبقة الوحيدة من الخلايا المكعبة فى الجريب الأولى.)ب(جريب ثالثى ناضح. قبل الإباضة مباشرة، سينمو هذا الجريب ليصل إلى قطر يتراوح بين 25 إلى 30 ملم.

APR

أ: إد ريشكى؛ ب: إد ريشكى/ستون/غيتى إيماجز

الهرمونات والكوليسترول. ينقسم إلى *الثيكا الخارجية* وهى طبقة من العضلات الملساء المعصبة، و*الثيكا الداخلية* وهى خلايا تصنع الستيرويدات. يحفز الهرمون اللوتينى)LH(والأنسولين الثيكا الداخلية على امتصاص الكوليسترول من الدم وتحويله إلى الأندروجينات—الأندروستينديون وكمية أقل من التستوستيرون. تنتشر هذه الأندروجينات إلى داخل خلايا الجرانولوزا، حيث يحفز الهرمون المنشط للحوصلة)FSH(هذه الخلايا لتحويلها إلى الإستروجينات، وخاصة الإستراديول.

4. الجريبات الثلاثية. قبل حوالى 60 يومًا)دورتين طمثيتين(من الإباضة، تبدأ خلايا الجرانولوزا فى إفراز السائل الجريبى، الذى يتجمع فى جدار الجريب. وجود هذه التجمعات يحدد الجريب الثلاثى. مع ازدياد حجمها، تندمج هذه التجمعات لتصبح تجويفًا واحدًا مملوءًا بالسائل، وهو التجويف)أنتروم( )الشكل 28.12ب(. بسبب ذلك، تُسمى الجريبات الثلاثية والناضجة الجريبات الأنترالية، بينما تُسمى المراحل السابقة ما قبل الأنترالية. على جانب واحد من التجويف، يوجد كتلة من خلايا الجرانولوزا تُسمى كومولوس أووفيروس[33] تغطى البويضة وتثبتها فى جدار الجريب. الجريبات الأنترالية كبيرة بما يكفى لأن تُرى حتى فى فحوصات الموجات فوق الصوتية للمبايض. هذه إحدى الطرق لتقييم خصوبة الأنثى.

الطبقة الداخلية من خلايا الكومولوس، المحيطة بالمنطقة الشفافة والبويضة، تُسمى التاج الإشعاعى.[34] تنمو هذه الخلايا والبويضة شعيرات دقيقة تمتد وتتداخل مثل أصابع يدين متشابكتين. تتكون وصلات فجوية بينها، مما يمكّن الخلايا من تمرير المغذيات والنفايات والإشارات الكيميائية إلى بعضها البعض. تخترق بعض الشعيرات الدقيقة لخلايا الجرانولوزا بعمق داخل البويضة وتقترب من نواتها. لا يمكن لأى شىء الوصول إلى البويضة إلا عبر التاج الإشعاعى، الذى يشكل حاجزًا وقائيًا حول البويضة يشبه وظيفيًا حاجز الدم–الخصية الموضح فى الفصل 27.

5. البويضات الناضجة. عادةً ما يتحول جريب واحد فقط فى كل دفعة شهرية إلى جريب ناضح)الشكل 28.12ب(، مقدر له أن

محاط بطبقة واحدة من خلايا الجريب الحرشفية)الشكل 28.12أ(. تتركز الجريبات البدائية فى قشرة المبيض، بالقرب من الكبسولة. تتكون جميعها فى الشهر السادس حتى التاسع من الحمل، لكنها تستمر حتى مرحلة البلوغ. فى المبيض البالغ، يشكل الجريبات البدائية 90% إلى 95% من الجريبات. يجب على تلك التى تنجو من الضمور الطفولى الانتظار لمدة لا تقل عن 13 سنة—وبعضها يصل إلى 50 سنة—قبل أن تُعاد تنشيطها، وتستأنف تطورها، وتحصل على فرصة للإباضة. التنشيط)تفعيل الجريب البدائى(يوقظ حوالى 20 إلى 25 جريبًا بدائيًا كل شهر ليبدأوا مسيرة تستمر 290 يومًا نحو النضج؛ وعادةً، جريب واحد فقط من هذه الجريبات يبيض فى النهاية والباقى يموت.

2. الجريبات الأولية. بعد حوالى 140 يومًا من الدورة، تتحول الجريبات البدائية التى تم تنشيطها إلى جريبات أولية يبلغ قطرها حوالى 100 ميكرومتر. تحتوى هذه على بويضة أكبر وخلايا الجريب الآن مكعبة الشكل، لكنها لا تزال تشكل طبقة واحدة فقط. يتم التحكم فى التطور من الجريب البدائى إلى الجريب الأولى عن طريق عوامل نمو محلية، وليس بواسطة الهرمونات المنشطة للجريب)FSH(أو الهرمون اللوتينى)LH(، حيث لا تزال هذه الجريبات تفتقر إلى مستقبلات لهذه الهرمونات. ومع ذلك، تطور خلايا الجريب مستقبلات FSH قريبًا و يعتمد الجريب على FSH للتقدم إلى المرحلة التالية.

3. الجريبات الثانوية. تظهر هذه بعد حوالى 170 يومًا من الدورة، أى قبل حوالى ست دورات شهرية من الإباضة. تتميز بخلايا جريبية تضاعفت وتراكمت فوق بعضها لتشكل طبقتين أو أكثر؛ و تسمى الآن خلايا الغرانولوزا. يبلغ قطر الجريبات الثانوية حوالى 200 ميكرومتر، والبويضة وحدها حوالى 120 ميكرومتر—خمسة أضعاف حجمها الأصلى استعدادًا لتطور الجنين المبكر. تحاط البويضة بطبقة من الهلام الجليكوبروتينى، المنطقة الشفافة)zona pellucida(.[31]

الجريب محاط الآن بغلاف صلب يسمى التيكا[32] الجريبية)THEE-ca fol-IC-you-lye(. التيكا مزودة بكثرة بالأوعية الدموية التى توصل المغذيات،

[31] المنطقة)zona(= منطقة؛ شفافة)pellucid(= واضحة، شفافة

[32] التيكا)theca(= صندوق، غلاف

[33] التجمع)cumulus(= تلة صغيرة؛ البويضة)oo(= بيضة؛ الحامل)phor(= يحمل

[34] التاج)corona(= تاج؛ المشع)radiata(= مشع

1. المرحلة الجريبية. تمتد المرحلة الجريبية من بداية الحيض حتى الإباضة—أى من اليوم الأول إلى اليوم الرابع عشر فى دورة متو سطة. الجزء من نهاية الحيض حتى الإباضة يُسمى أيضًا المرح لة ما قبل الإباضة.
المرحلة الجريبية هى الجزء الأكثر تقلبًا فى الدورة، لذا وللأسف لأغراض تنظيم الأسرة أو تجنب الحمل، نادرًا ما يكون من الممكن التنبؤ بتاريخ الإباضة بدقة.
خلال المرحلة الجريبية، يحفز الهرمون المنشط للحويصلات)FSH(استمرار نمو جميع الجريبات فى المجموعة، ولكن الجريب السائد فوق الجميع. يحفز FSH خلايا الغرانولوزا فى الجريبات الأنترالية على إفراز الإستراديول. استجابةً للإستراديول، يزيد الجريب السائد من مستقبلاته لـ FSH، LH، والإستراديول نفسه، مما يجعله أكثر حساسية لهذه الهرمونات. فى الوقت نفسه، يمنع الإستراديول إفراز هرمون مطلق الغونادوتروبين)GnRH(من الوطاء. تفرز الغدة النخامية الأمامية كمية أقل وأقل من FSH، ولكن كمية متزايدة من LH. تعانى معظم الجريبات الأنترالية من انخفاض مستوى FSH وت تحلل)تخضع للضمور(. ومع ذلك، فإن الجريب السائد له أغنى إمداد دموى وأعلى كثافة من مستقبلات FSH، لذا يصبح الجري ب الناضج ما قبل الإباضة. فى هذه المرحلة، يعرض المبيض أ يضًا جريبات فى مراحل عديدة أخرى، تنتمى إلى مجموعات أخر ى تتأخر وراء المجموعة الرائدة مثل الطلاب الجدد الذين يتبعو ن الطلاب الأكبر سنًا.

تحدث تغييرات دراماتيكية فى اليوم الأخير تقريبًا قبل الإ باضة. يحفز الإستراديول من المبيض الوطاء والغدة النخامية الأم امية)الشكل 28.14(. استجابةً لـ GnRH من الوطاء وللإستراديو ل مباشرة، تنتج الغدة النخامية الأمامية دفعة من LH وار تفاعًا أقل فى FSH)انظر منتصف الشكل 28.13أ(. يحفز LH ع دة أحداث مهمة. يكمل البويضة الأولية الانقسام الاختزالى الأول، منتجة بويضة ثانوية أحادية الصيغة الصبغية والجسم القطبى الأ ول. يتراكم السائل الجريبى بسرعة؛ يتضخم الجريب ليصل إ لى قطر 25 أو 30 مم، ويحتوى على ما يصل إلى 7 مل من ال سائل، ويبرز من المبيض مثل بثرة)الشكل 28.15(.

تنجذب البلاعم والكريات البيضاء إلى المنطقة وتفرز إنزيما ت تضعف جدار الجريب والأنسجة المجاورة للمبيض. يظهر ن توء يشبه الحلمة يسمى stigma على سطح المبيض فوق ا لجريب. مع زيادة الضغط الداخلى وضعف الجدار، يقترب الجرى ب الناضج من التمزق.
فى الوقت نفسه، يستعد أنبوب الرحم لالتقاط البويضة عند خروجها. ينتفخ بسبب الوذمة؛ تغلف أهداب الأنبوب المبيض وتداعبه بتزامن مع نبضات قلب الشخص؛ وتخلق أهدابه تيارًا لطيفًا فى السائل البريتونى القريب.

2. الإباضة. تستغرق الإباضة نفسها فقط دقيقتين أو ثلاث دقائق. يتسرب السائل الجريبى من الوَسم لمدة دقيقة أو دقيقتين، ثم ينفجر الجريب.
تتسرب السوائل المتبقية، حاملةً البويضة وكتلة الخلايا المحيطة بها)cumulus oophorus(. عادةً ما يتم جرف هذه بواسطة التيار اله دبى وأخذها إلى قناة الرحم، على الرغم من أن العديد من البويضات تـ سقط فى تجويف الحوض وتموت.

3. المرحلة الأصفرية. الأيام من 15 إلى 28، من بعد الإباضة مباشرةً وحتى بداية الحيض، تُسمى المرحلة الأصفرية)ما بعد الإباضة(. بافتراض عدم حدوث حمل، فإن الأحداث الرئيسية فى هذه الم رحلة هى كما يلى.

تُبَيض بينما تتحلل البقية)تصبح *جريبات متلاشية* .(
حوالى 20 يومًا قبل الإباضة)أى فى أواخر الدورة الحيضية ال سابقة(، يتم اختيار جريب واحد من المجموعة ليكون الجريب السائد، وهو الجريب المقدر له أن يُبَيض. يقوم هذا الجريب بال تقاط واحتجاز هرمون FSH، بينما تفشل الجريبات الأخرى فى تجميع FSH ويتباطأ نموها. بحلول الوقت الذى تبدأ فيه ا لدورة الشهرية للمرأة—اليوم الأول من الدورة التى سيحدث فيها الإباضة—يبلغ قطر الجريب السائد حوالى 5 ملم ويبعد أس بوعين عن الإباضة. قبل 5 أيام من الإباضة، ينمو ليصل إلى 20 ملم فى القطر ويُعتبر جريب ما قبل الإباضة)جريب جراف[35](؛ ويصل إلى حجم مذهل يصل إلى 30 ملم عند وقت الإباضة، أى بعرض يعادل طول المبيض ككل. مع اقتراب الإباضة، ينتفخ الكومولوس أوفوروس ويتقلص ارتباطه بجدار الجريب حتى ي صبح البويضة متصلة بالجدار عن طريق ساق ضيقة فقط. فى ا ليوم الأخير تقريبًا، تنفصل البويضة والكومولوس وتطفوان بحرية فى التجويف، جاهزتان لهذا الحدث المصيرى فى حياتها—الإ باضة.

28.3ح الدورة الجنسية

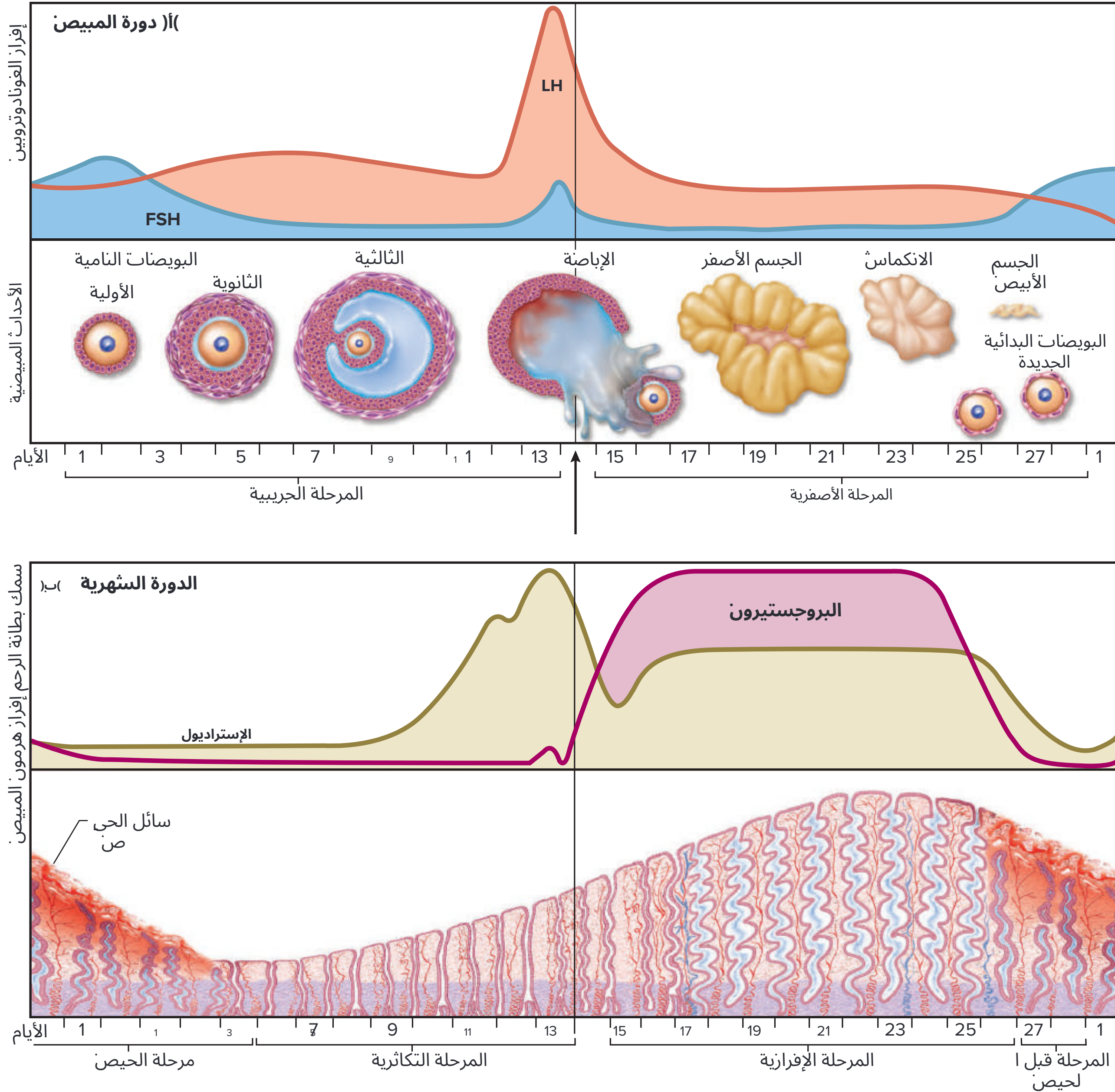
يمكننا الآن ربط هذه التغيرات فى خلية البويضة والجريب بإيقاعات المبايض والرحم—الدورة الجنسية.
تبلغ مدة الدورة فى المتوسط 28 يومًا، لذا سنستخدم ذلك كأساس لج دول الزمن الموضح فى المناقشة التالية. ومع ذلك، فإنها تتفاوت عاد ةً بين 20 إلى 45 يومًا، لذا يجب أن تكون على علم بأن الجدول الزمنى المذكور فى هذه المناقشة قد يختلف من شخص لآخر ومن شهر لآخر . أثناء دراستك لهذه الدورة، ضع فى اعتبارك أنها تُنظّم بواسطة محور الوطاء-الغدة النخامية-المبيض: هرمونات الوطاء تنظم الغدة النخامي ة؛ وهرمونات الغدة النخامية تنظم المبايض؛ والمبايض بدورها تفرز ه رمونات تنظم الرحم. أى أن التسلسل الأساسى للسيطرة يمكن تمثيله : الرحم. ومع ذلك، تمارس ا← المبايض ← الغدة النخامية ←الوطاء لمبايض أيضًا ضوابط تغذية راجعة إيجابية وسلبية على الوطاء والغدة النخامية، لذا فإن هذه العلاقات الهرمونية تشبه أكثر حلقة تواصل بدلاً من سلسلة قيادة خطية.

لنبدأ بمقدمة موجزة عن الدورة الجنسية ككل)الشكل 28.13(. تبدأ بمرحلة الجريبية التى تستمر أسبوعين. تتميز ا لأيام الأولى من 3 إلى 5 أيام منها بالحيض، وهو إفراز مهبلى من الدم وأنسجة بطانة الرحم. ثم يعيد الرحم بناء الأنسجة المفقودة عن طريق ا لانقسام الميتوزى. خلال إعادة بناء بطانة الرحم هذه، ينمو مجموعة م ن الجريبات الثلاثية حتى تُبَيض الجريب السائد حوالى اليوم 14. بعد ا لإباضة، يتحول باقى ذلك الجريب إلى جسم يسمى الجسم الأصفر. خلال الأسبوعين التاليين، المسماة *المرحلة الأصفرية*، يحفز الجسم الأصفر إفرازات بطانة الرحم، مما يجعل بطانة الرحم تزداد سماكة أكثر، حتى حوالى اليوم 26. إذا لم يحدث حمل، تتحلل بطانة الرحم مرة أخرى فى اليومين الأخيرين. ومع تراكم الأنسجة الفضفاضة والدم، يبدأ الحيض وتبدأ الدورة من جديد.

دورة المبيض

سنرى الآن، فى ثلاث خطوات رئيسية، ما يحدث فى المبايض وفى علاقتها بالوطاء والغدة النخامية.
هذه هى دورة المبيض، الموضحة فى النصف العلوى من الشكل 28.13.

[35]زينير دى جراف)1641–73(، عالم فسيولوجيا وعالم أنسجة هولندى



الشكل 28.13 الدورة الجنسية الأنثوية.)أ(دورة المبيض)الأحداث في المبيض(.)ب(دورة الحيض)الأحداث في الرحم(. تم رسم مستويي الهرمون في الجزء)أ(بنفس المقياس، لكن تلك الموجودة في الجزء)ب(ليست كذلك. تركيز البروجستيرون الأقصى حوالي 17 ضعف تركيز الإستراديول الأقصى.

APR

عندما ينفجر الجريب، ينهار وينزف إلى التجويف. ومع امتصاص الدم المتجلط ببطء، تتكاثر خلايا الغرانولوزا والذي ل الداخلي وتملأ التجويف، وتنمو شبكة كثيفة من الشع يرات الدموية بينهما. أصبح الجريب المُبَويض الآن هيكلًا يُسمى الجسم الأصفر،[36] سُمي بذلك نسبةً إلى الدهون ال صفراء التي تتراكم في خلايا الذيل الداخلي. تُسمى هذه الخلا يا الآن خلايا اللوتين. يتم تنظيم التحول من الجريب المنفجر إ لى الجسم الأصفر بواسطة هرمون LH؛ ولذلك يُسمى LH أي ضًا *الهرمون اللوتيني*.

يحفز هرمون LH الجسم الأصفر على الاستمرار في النمو وإفراز مستويات متزايدة من الإستراديول والبروجستيرون. هناك زيادة بمقدار 10 أضعاف في مستوى البروجستيرون)ال شكل 28.14(، والذي يلعب دورًا حاسمًا في تجهيز الرحم لاحتما لية حدوث الحمل. ومع ذلك، وعلى الرغم من دوره اللوتيني، ينخ فض إفراز LH تدريجيًا خلال بقية الدورة، وكذلك هرمون FSH. و يرجع ذلك إلى أن المستويات العالية من الإستراديول والبروج ستيرون، إلى جانب الإنيبين من الجسم الأصفر، تمارس تأ ثيرًا سلبيًا على الغدة النخامية.)وهذا هو الأساس لمنع الحمل ا لهرموني؛ انظر التعمق 28.5(.إذا لم يحدث الحمل، يبدأ الح سم الأصفر عملية الانكماش، أو التقلص، بدءًا من حوالي

[36] الجسم = الجسم؛ الأصفر = الاصفر

نظرة أعمق 28.3

التطبيق السريرى

علامات الإباضة

إذا كان الزوجان يحاولان الحمل أو تجنب الحمل، فمن المهم معرفة متى تحدث الإباضة. العلامات تكون دقيقة ولكن يمكن اكتشافها. أولاً، يصبح مخاط عنق الرحم أرق وأكثر مرونة. أيضًا، ترتفع درجة حرارة الجسم أثناء الراحة (درجة الحرارة القاعدية) بمقدار 0.2° إلى 0.3° مئوية (0.4° إلى 0.6° فهرنهايت). يُفضل قياس ذلك فى الصباح الباكر، قبل النهوض من السرير؛ يمكن اكتشاف التغير إذا تم تسجيل درجات الحرارة القاعدية لمدة عدة أيام قبل الإباضة لرؤية الفرق. يمكن اكتشاف ارتفاع هرمون LH الذى يحدث حو 24 ساعة قبل الإباضة باستخدام مجموعة اختبار منزلية. أخيرًا، تعانى بعض النساء من آلام مفاجئة فى المبيض تعرف بالاسم الألمانى mittelschmerz[38] والتى تستمر من عدة ساعات إلى يوم تقريبًا فى وقت الإباضة. الوقت الأكثر احتمالاً للحمل هو خلال 24 ساعة بعد تغير قوام مخاط عنق الرحم وارتفاع درجة الحرارة القاعدية.

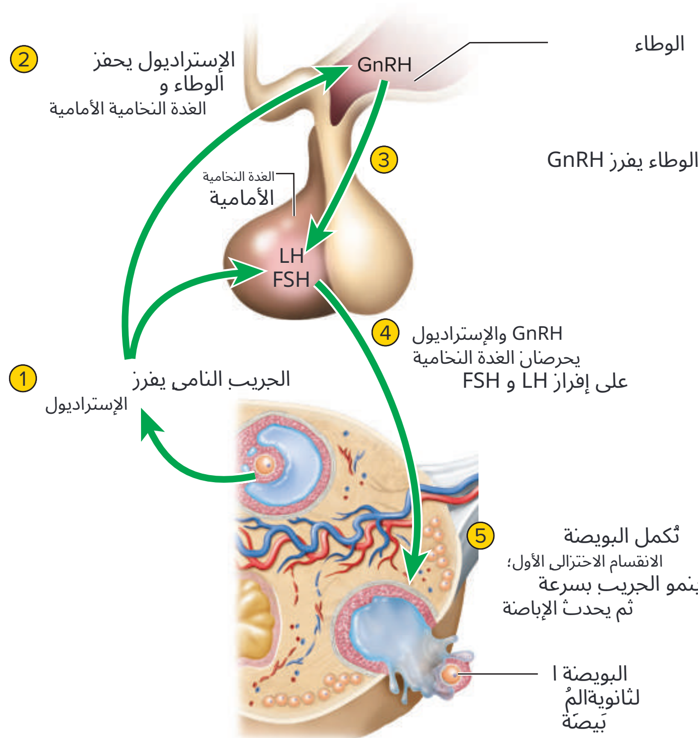
تتكرر كل هذه الأحداث شهريًا، ولكن يجب أن تضع فى اعتبارك أن الجريبات المشاركة فى كل دورة شهرية بدأت تطورها قبل الولادة، قبل ما يصل إلى 50 عامًا، ثم ظلت خاملة خلال الطفولة؛ البويضة التى تُطلق كل شهر تم تنشيطها وبدأت فى النضج قبل 290 يومًا، وليس فى الدورة التى تحدث فيها الإباضة. قد يخلق حقيقة أن الشخص يُباض كل 28 يومًا تقريبًا انطباعًا خاطئًا بأن البويضة والجريب استغرقا فقط 28 يومًا للنضج. سبب هذه الفواصل بين الإباضات هو أن مجموعات جديدة من الجريبات تُنشط كل 28 يومًا، تتداخل وتتبع بعضها البعض، مع إباضة الجريبات السائدة بفاصل 28 يومًا (الشكل 28.16).

تحدث الإباضة عادة فى مبيض واحد فقط فى كل دورة، وعادة ما تتناوب المبايض من شهر لآخر. لذلك، بينما تُباض الأنثى مرة واحدة كل 28 يومًا، فإن كل مبيض يُباض مرة واحدة فقط كل 56 يومًا، فى المتوسط. الجدول 28.1 يلخص الأحداث الرئيسية لدورة المبيض ويربطها بأحداث دورة الحيض، التى سنستعرضها بعد ذلك.

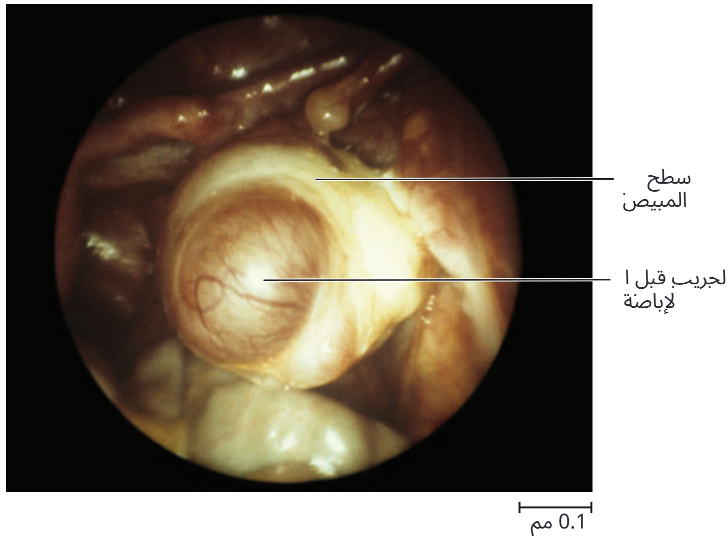
دورة الحيض

تحدث دورة الحيض بالتزامن مع دورة المبيض. تتكون من تراكم بطانة الرحم خلال معظم الدورة الجنسية، تليها تحلل الأنسجة وإفراز مهبلى. تنقسم إلى *مرحلة التكاثر، المرحلة الإفرازية، المرحلة قبل الحيض،* و *مرحلة الحيض* (انظر الشكل 28.13ب). متوسط مدة مرحلة الحيض هو 5 أيام، ويُعرف اليوم الأول لحدوث الإفراز المهبلى الملحوظ بأنه اليوم الأول من الدورة الجنسية. ولكن على الرغم من أنها تبدأ جدولنا الزمنى الاصطناعى للدورة، فإن الحيض يُفهم بشكل أفضل بعد التعرف على تراكم أنسجة بطانة الرحم التى تسبقه. لذلك، نبدأ استعراضنا للدورة بمرحلة التكاثر.

1. مرحلة التكاثر. تُعاد بناء الطبقة الوظيفية من نسيج بطانة الرحم التى فقدت فى الحيض السابق خلال مرحلة التكاثر. فى نهاية الحيض، حوالى اليوم الخامس، تكون بطانة الرحم حوالى 0.5 مم سميكة وتتكون فقط من الطبقة القاعدية. ولكن مع تطور مجموعة جديدة من الجريبات، تفرز المزيد والمزيد من الإستروجين. يحفز الإستروجين الانقسام الخلوى فى الطبقة القاعدية والنمو المكثف للأوعية الدموية



الشكل 28.14 التحكم الهرمونى فى الإباضة.



الشكل 28.15 صورة منظارية لجريب ناضج قبل الإباضة.

الدكتور باتريس لانغلويس/المركز الوطنى للبحوث العلمية/مصدر العلوم

اليوم 22 (بعد 8 أيام من الإباضة). بحلول اليوم 26، يكون الانكماش مكتملاً وقد تحول الجسم الأصفر إلى قطعة غير نشطة من نسيج الندبة تُسمى الجسم الأبيض.[37] مع تراجع إفراز الستيرويدات المبيضية، لم يعد الغدة النخامية مثبطة وتبدأ مستويات FSH فى الارتفاع مرة أخرى، مما يحفز دفعة جديدة من الجريبات.

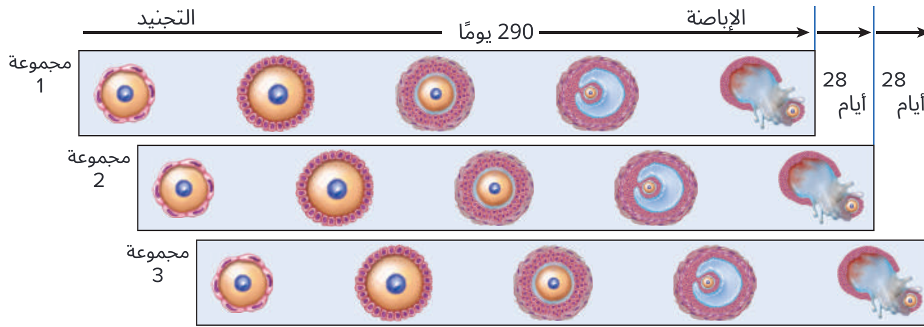
[38] mittel= فى الوسط؛ schmerz= الم

[37] الجسم = الجسم؛ الأبيض = أبيض

على إفراز الجليكوجين. تنمو الغدد أعرض، وأطول، وأكثر التواءً، وتنتفخ الطبقة الأساسية بالسوائل النسيجية)الشكل 28.17ب(. بحلول نهاية هذه المرحلة، يكون بطانة الرحم بسماكة 5 إلى 6 مم — سرير ناعم، رطب، ومغذى متاح لتطور الجنين فى حالة حدوث الحمل.

3. المرحلة قبل الحيض. آخر يومين تقريبًا من الدورة هى المرحلة قبل الحيض، وهى فترة تحلل بطانة الرحم. كما رأينا سابقًا، عندما لا يحدث حمل، يضمحل الجسم الأصفر وينخفض مستوى البروجسترون بشكل حاد. يسبب انخفاض البروجسترون تقلصات تشنجية فى الشرايين الحلزونية لبطانة الرحم، مما يؤدى إلى إقفار بطانة الرحم)انقطاع تدفق الدم(. لذلك تُسمى المرحلة قبل الحيض أيضًا المرحلة الإقفارية)iss-KEE-mic(. ينتج عن نقص تدفق الدم موت أنسجة بطانة الرحم فى الطبقة الوظيفية. التشنجات الشريانية فى عضلة الرحم الأعمق مسؤولة عن تقلصات الحيض، حيث أن أى عضلة محرومة من تدفق الدم تؤلم، والرحم يتكون فى الغالب من عضلات. مع تحلل غدد بطانة الرحم، النسيج الضام، والأوعية الدموية، تتجمع برك من الدم فى الطبقة الوظيفية. تسقط بطانة الرحم الميتة من جدار الرحم، وتختلط بالدم والسائل المصلى فى التجويف، وتشكل السائل الحيضى

)الشكل 28.17ج(.



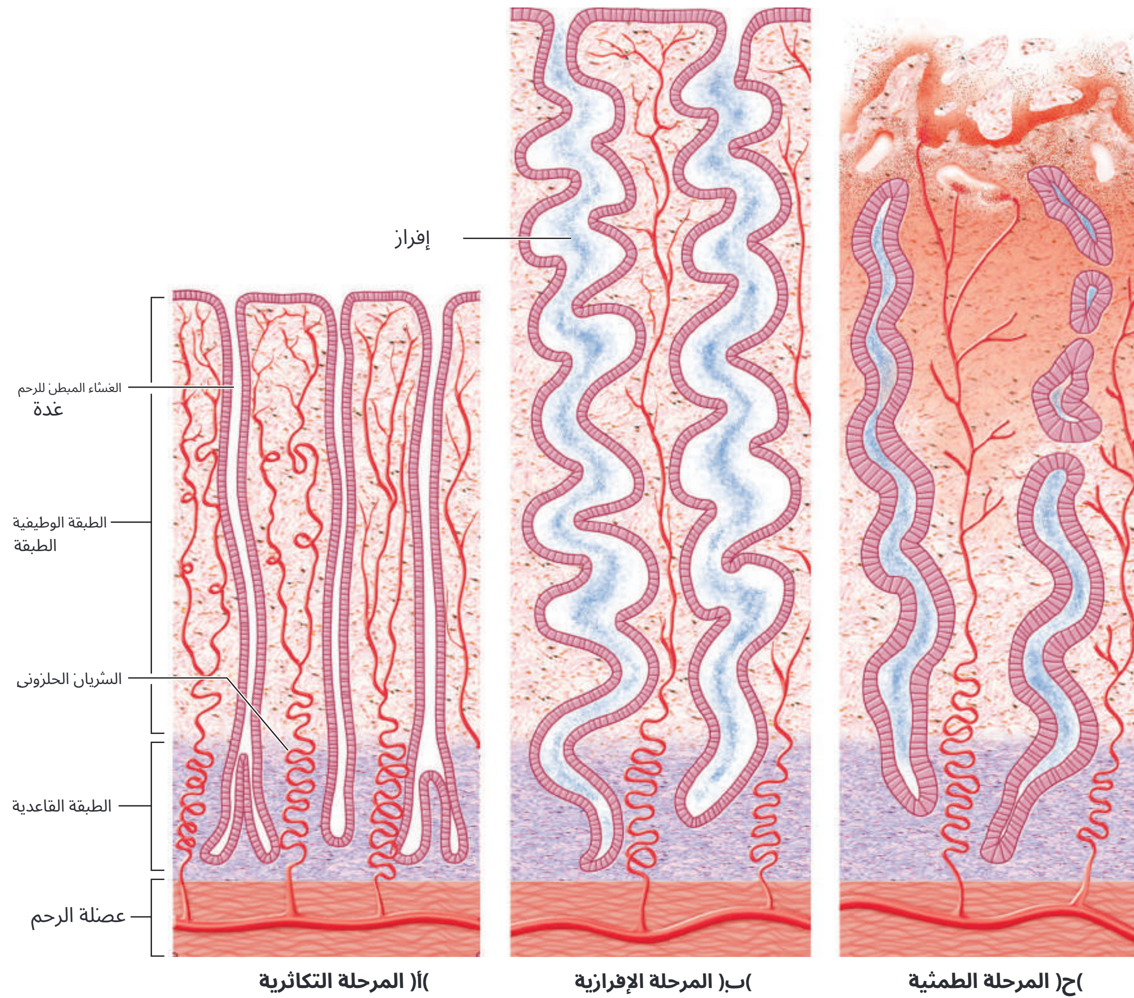
الشكل 28.16 ثلاث مجموعات متداخلة من الجريبات النامية. تتكون كل مجموعة من 20 إلى 25 جريبًا، لكن يُطهر فقط الجريب السائد. لاحظ أن عملية الإباضة تحدث بفواصل زمنية تبلغ 28 يومًا على الرغم من أن كل جريب إباضى يستغرق 290 يومًا لتطوره)بالإضافة إلى تطوره قبل الولادة(.

الأوعية الدموية، مما يعيد تجديد الطبقة الوظيفية)الشكل 28.17أ(. بحلول اليوم 14، يكون سمك بطانة الرحم من 2 إلى 3 مم. كما يحفز الإستروجين خلايا بطانة الرحم على إنتاج مستقبلات البروجسترون، مما يهيئها للمرحلة الإفرازية التى يهيمن عليها البروجسترون والتى تلى ذلك.

2. المرحلة الإفرازية. تزداد سماكة بطانة الرحم أكثر خلال المرحلة الإفرازية، ولكن نتيجة للإفراز وتراكم السوائل وليس الانقسام الخلوى. تمتد هذه المرحلة من اليوم 15)بعد الإباضة(إلى اليوم 26 من الدورة النموذجية.

بعد الإباضة، يفرز الجسم الأصفر بشكل رئيسى البروجسترون. هذا الهرمون يحفز غدد بطانة الرحم

الأيام	المرحلة	الميزات الرئيسية
		الجدول 28.1 مراحل دورة المبيض
1–14	**المرحلة الجريبية**	تطور جريبات المبيض وإفراز الإستراديول بشكل أساسى. تتزامن مع مراحل الحيض والتكاثر فى دورة الحيض.
	الجريب البدائى	تتكون قبل الولادة ويستمر العديد منها حتى مرحلة البلوغ. تتكون من بويضة محاطة بطبقة واحدة من خلايا جريبية حرشفية.
	الجريب الأولى	تتكون من بويضة محاطة بطبقة واحدة من خلايا جريبية مكعبة.
	الجريب الثانوى	تتعدد طبقات الخلايا الجريبية، وتتحول إلى خلايا جرانيولوزا، وتفرز منطقة شفافة)zona pellucida(. تتكون طبقة التيكا حول الجريب.
	الجريب الثالثى	تتطور من جريب ثانوى فى كل دورة. تشكل تجويفًا مملوءًا بسائل جريبى وتطهر فيه كتلة بويضية)cumulus oophorus(، التاج الإشعاعى)corona radiata(، المنطقة الشفافة)zona pellucida(، وطبقة التيكا ذات الطبقتين.
	الجريب السائد	الجريب الثالثى الذى من المقرر أن يطلق البويضة. يطهر بحلول نهاية مرحلة الحيض. يهيمن هرمونيًا على بقية الدورة، بينما تخضع الجريبات الأخرى فى المجموعة للضمور. يفرز بشكل رئيسى الإستراديول. يتزامن مع المرحلة التكاثرية من دورة الحيض، حيث يزداد سمك بطانة الرحم عن طريق الانقسام الميتوزى.
	الجريب الناضج	الجريب السائد قبل الإباضة مباشرة. يصل قطره إلى 20 إلى 30 مم ويزداد الضغط الداخلى للسائل فيه مع ضعف جدار المبيض المجاور.
14	**الإباضة**	تمزق الجريب الناضج وإطلاق البويضة.
15–28	**المرحلة الأصفرية)ما بعد الإباضة(**	تسيطر عليها الجسم الأصفر. تتزامن مع المرحلتين الإفرازية وما قبل الحيض من دورة الحيض.
	الجسم الأصفر	تتطور من الجريب الذى تم الإباضة منه عن طريق تكاثر خلايا الغرانولوزا وخلايا التيكا الداخلية. يحفز البروجسترون سماكة بطانة الرحم عن طريق الإفراز)المرحلة الإفرازية من دورة الحيض(. يبدأ فى الانكماش بحلول اليوم 22 فى حالة عدم حدوث حمل؛ ويكتمل الانكماش بحلول اليوم 26.
	الجسم الأبيض	النسيج الندبى المتبقى من انكماش الجسم الأصفر؛ غير نشط هرمونيًا. فى غياب البروجسترون، يطهر بطانة الرحم إقفارًا، نخرًا، وتساقطًا للأنسجة. تختلط أنسجة بطانة الرحم الميتة بالدم وتشكل السائل الحيضى.



الشكل 28.17 التغيرات فى الغشاء المبطن للرحم خلال دورة الحيض.)أ(المرحلة التكاثرية المتأخرة. الغشاء المبطن للرحم يبلغ سمكه 2 إلى 3 مم ويحتوى على غدد رحمية ضيقة ومستقيمة نسبيًا. الشرايين الحلزونية تخترق صعودًا بين الغدد الرحمية.)ب(المرحلة الإفرازية. يزداد سمك الغشاء المبطن للرحم إلى 5 إلى 6 مم بتراكم الجليكوجين والمخاط. الغدد الرحمية تصبح أوسع بكثير وأكثر التواءً، مظهرة شكل متعرج أو "مسنن" فى المقاطع النسيجية.)ح(مرحلة الحيض. بدأ النسيج الإقفارى يموت ويتساقط من جدار الرحم، مع نزيف من الأوعية الدموية المكسورة وتجمع الدم فى النسيج وتجويف الرحم.

4. مرحلة الحيض. عندما يتجمع ما يكفى من سائل الحيض فى الرحم، يبدأ فى الخروج من المهبل لفترة تُسمى مرحلة الحيض)الطمث(. اليوم الأول من النزيف يمثل اليوم الأول من دورة جديدة. المرأة المتوسطة تفرز حوالى 40 مل من الدم و35 مل من السائل المصلى خلال فترة 5 أيام. الحيض يتسبب فى تساقط الطبقة الوظيفية للغشاء المبطن للرحم، تاركًا مرة أخرى الطبقة القاعدية فقط.

لتلخيص دورة الجنس الأنثوية، تمر المبايض بمرحلة جريبية تتميز بنمو الجريبات، ثم الإباضة، ثم مرحلة ما بعد الإباضة)غالبًا الصفراء(التى تهيمن عليها الجسم الأصفر. فى الوقت نفسه، يمر الرحم بمرحلة الحيض التى يطرح فيها طبقته الوظيفية؛ ثم مرحلة تكاثرية يستبدل فيها ذلك النسيج بالانقسام الخلوى؛ ثم مرحلة إفرازية يزداد فيها سمك الغشاء المبطن للرحم بتراكم الإفرازات؛ وأخيرًا، مرحلة ما قبل الحيض)الإقفارية(التى يتحلل فيها الطبقة الوظيفية مرة أخرى. النصف الأول من الدورة تتحكم فيه إلى حد كبير هرمون تحفيز الجريب)FSH(من الغدة النخامية والإستروجين من المبايض. يتم تحفيز الإباضة بهرمون اللوتين)LH(من الغدة النخامية، والنصف الثانى من الدورة يتحكم فيه بشكل رئيسى LH والبروجسترون، الذى يفرزه الجسم الأصفر فى المبيض.

نظرة أعمق 28.4



التطبيق السريرى

بطانة الرحم المهاجرة

أى نمو لبطانة الرحم فى موقع غير الرحم يُسمى بطانة الرحم المهاجرة. قد تستقر أنسجة بطانة الرحم وتنمو فى قنوات فالوب، سطح المبايض، المثانة البولية، المهبل، تجويف الحوض، البريتوان، الأمعاء الدقيقة أو الغليظة، أو حتى فى الرئتين وتجويف الجنبة. تتصرف بطانة الرحم فى هذه المواقع الغريبة بنفس الطريقة كما فى الرحم، حيث تزداد سماكتها مع كل مرحلة قبل الحيض وتُطرح بالتزامن مع الحيض. الأنسجة المطرحة لا تجد مكانًا تذهب إليه، مما يسبب تهيجًا وتكوّن نسيج ندبى والتصاقات فى تجاويف الجسم.

تؤثر بطانة الرحم المهاجرة على 6% إلى 10% من النساء، وغالبًا ما تسبب ألمًا فى الحوض؛ عسر الطمث)الحيض المؤلم(؛ ألمًا مرتبطًا بالجماع، التبول، أو التبرز؛ نزيفًا مهبليًا غير طبيعى؛ وأحيانًا العقم. النظرية الأكثر قبولًا لبطانة الرحم المهاجرة هى الحيض الراجع— تدفق سائل الحيض إلى الوراء وخروجه عبر قناة فالوب بدلاً من المهبل. تشمل خيارات العلاج العلاج الهرمونى والجراحة؛ وفى الحالات الشديدة قد يكون استئصال الرحم ضروريًا كملاذ أخير. لا يوجد علاج معروف حتى الآن.

في مرحلة الذروة، يكون الرحم شبه عمودي ويمتد إلى الحوض الأكبر. يُسمى هذا تأثير الخيمة.
على الرغم من أن المهبل هو العضو التناسلي الأنثوي، إلا أن البظ ر أكثر تشابهاً مع القضيب من حيث البنية والفسيولوجيا والأهمية كم ركز رئيسي للتحفيز الجنسي. يحتوي على تركيز عالٍ من النهايات الع صبية الحسية، والتي، بالمقارنة، تكون قليلة نسبياً في المهبل. تذكر أ ن القضيب والبظر هما تراكيب متماثلة. كلاهما يحتوي على زوج من ا لجسم الكهفي مع *الشرايين العميقة* ويصبحان منتفخين بنفس الآلية.

تنتفخ رأس وجذع البظر إلى حجم يتراوح بين ضعفين إلى ثلاثة أضعا ف حجمهما غير المنبه، ولكن بما أن البظر لا يمكنه التأرجح للأعلى بع يداً عن الجسم مثل القضيب، فإنه يميل إلى الانسحاب تحت القلفة. دفع القضيب داخل المهبل يشد الشفرين الصغيرين ويمتد ليشد الق لفة ويحفز البظر.
يمكن أيضاً تحفيز البظر بالضغط بين عظم العانة لشريكي العلاقة.

تصبح الثديان محتقنتين ومنتفختين خلال مرحلة الإثارة، وتنتص ب الحلمات. تحفيز الثديين يعزز أيضاً الإثارة الجنسية.

28.4ب النشوة والانفراج

في أواخر مرحلة الذروة، تعاني العديد من النساء من حركات حوضية لا إرادية، تليها 1 إلى 2 ثانية من "التعليق" أو "الجمود" قبل النشوة. توصف النشوة عادةً بأنها إحساس مكثف ينتشر من البظر عبر الحو ض، أحياناً مع خفقان حوضي وشعور بالدفء المنتشر. تعطى منصة ا لنشوة ثلاث إلى خمس انقباضات قوية بفاصل حوالي 0.8 ثانية، بينما يغوص عنق الرحم بشكل متشنج في المهبل وبركة السائل المنوي، إ ذا كان موجوداً. يظهر الرحم موجات انقباضية دودية قد تساعد في س حب السائل المنوي من المهبل. عندما تصل النساء إلى الذروة الجن سية، يحتفظن بمزيد من حيوانات الرجل المنوية، مما يقلل من تصر يفها من المهبل وهدرها. تنقبض مصرات الشرج والإحليل، وتفرز الغد د المحيطة بالإحليل، المتماثلة مع البروستاتا، أحياناً سائلاً يشبه سائل البروستاتا. يحدث تسارع في ضربات القلب وفرط التنفس؛ تتضخم ا لثديان أكثر وتنتفخ الهالات؛ وفي العديد من النساء، يظهر احمرار يش به الطفح الجلدي على أسفل البطن والصدر والرقبة والوجه.

أثناء الانفراج، ينخفض الرحم إلى وضعه الطبيعي. تسترخي منصة النشوة بسرعة، بينما يعود الطرف الداخلي للمهبل إلى أبعاده الطبيع ية بشكل أبطأ. يختفي الاحمرار بسرعة وتفقد الهالات والحلمات احتقا نها الوعائي بسرعة، لكن قد يستغرق الأمر من 5 إلى 10 دقائق حتى تعود الثديان إلى حجمهما الطبيعي. في العديد من النساء (والرجال)، يحدث تعرق بعد النشوة. على عكس الرجال، لا تمتلك النساء فترة نقا هة وقد يختبرن نشوات إضافية بسرعة.

قبل أن تتابع

أجب أو أكمل ما يلي لاختبار فهمك للقسم السابق:

15. ما هي المصادر الأنثوية للإفرازات أثناء الجماع؟
16. ما هي الأنسجة والأعضاء الأنثوية التي تصبح محتقنة بالأوعية الدموية؟
17. وصف أفعال الرحم طوال دورة الاستجابة الجنسية.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

9. اذكر تسلسل أنواع الخلايا في تكوين البويضات وحدد الطرق التي يختلف بها تكوين البويضات عن تكوين الحيوانات ا لمنوية.
10. ميز بين الجريبات البدائية، الأولية، الثانوية، والثالثية. وصف الهيا كل الرئيسية للجريب الناضج.
11. صف ما يحدث في المبيض خلال المرحلتين الجريبية وما بعد الإ باضة.
12. صف ما يحدث في الرحم خلال المراحل الطمثية، التكاثرية، الإفرازية ، وما قبل الطمث.
13. صف تأثيرات الهرمون المنبه للجريب (FSH) والهرمون اللوتيني (LH) على المبيض.
14. وصف تأثيرات الإستروجين والبروجسترون على الرحم، الوطا ء، والغدة النخامية الأمامية.

28.4 الاستجابة الجنسية الأنثوية

نتائج التعلم المتوقعة

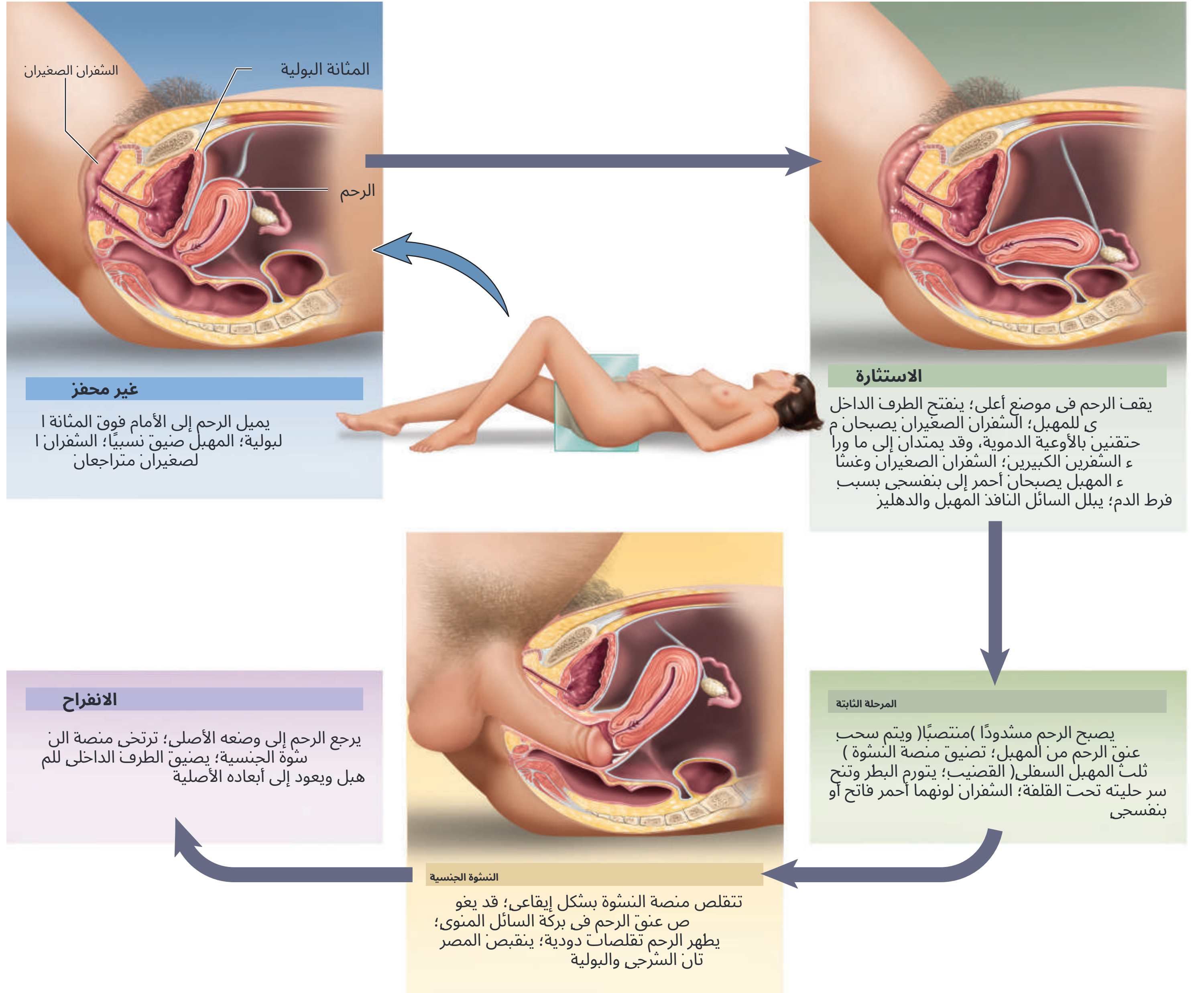
عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف الاستجابة الجنسية الأنثوية في كل مرحلة من مراحل ا لجماع؛ و
ب. مقارنة وتباين الاستجابات الجنسية الأنثوية والذكورية.

الاستجابة الجنسية الأنثوية، وهي التغيرات الفسيولوجية التي تحدث أ ثناء الجماع، يمكن النظر إليها من حيث المراحل الأربع التي حددها ما سترز وجونسون والتي نوقشت في الفصل 27: الإثارة، الثبات، النشو ة، والحل (الشكل 28.18). التحكم العصبي والوعائي في الاستجابة الأ نثوية هو في الأساس نفسه كما في الذكر ولا حاجة لتكراره هنا. التركيز هنا على الطرق التي تختلف بها الاستجابة الأنثوية عن الاستجابة الذ كرية.

28.4أ الإثارة والثبات

تتميز الإثارة بالتوتر العضلي؛ احتقان الأوعية الدموية؛ وزيادة معدل ضربات القلب، ضغط الدم، ومعدل التنفس. على الرغم من أن احتقا ن الأوعية يعمل بنفس الآلية في كلا الجنسين، إلا أن تأثيراته تختلف كثيرًا في الإناث. تصبح الشفرتان الصغيرتان محتقنتين وغالبًا ما تبرزا ن خارج الشفرتين الكبيرتين. تتحول الشفرتان الكبيرتان إلى اللون الأ حمر وتتضخمان، ثم تسطحان وتنتشران بعيدًا عن فتحة المهبل. ينق بض الثلث السفلي من المهبل ليشكل ممرًا ضيقًا يسمى منصة الن شوة، ويرجع ذلك جزئيًا إلى احتقان الأوعية في البصيلات الدهليزية ال تي تحيط بفتحة المهبل (انظر الشكل 28.8ب).
القناة الأضيق والتجاعيد المهبلية (نتوءات الاحتكاك) تعزز التحفيز وت ساعد في إحداث النشوة لدى كلا الشريكين. في المقابل، يتسع الطر ف العلوي من المهبل ويصبح أجوفًا.
يزيد تدفق الدم في جدار المهبل مما يجعله يميل إلى اللون البن فسجي وينتج سائلًا مصليًا، يُسمى الإفراز المهبلي، يتسرب عبر الجدار إلى القناة. إلى جانب إفرازات الغدد الدهليزية الكبرى، يرطب هذا الم دخل ويوفر التزليق.
الرحم، الذي يميل عادةً إلى الأمام فوق المثانة البولية، يصبح أك ثر استقامة أثناء الإثارة ويبتعد عن المهبل.



الشكل 28.18 مراحل الاستجابة الجنسية الأنثوية. يُطهر التشريح فى وضع الاستلقاء على الطهر.

الحمل والولادة 28.5

نتائج التعلم المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. سرد الهرمونات الرئيسية التى تنظم الحمل و شرح أدوارها؛

ب. وصف التكيفات الجسدية للمرأة أثناء الحمل؛

ج. تحديد المحفزات الفيزيائية والكيميائية التى تزيد من انقباضات الرحم فى أواخر الحمل؛

د. وصف آلية انقباضات المخاض؛

هـ. سمِّ وصِف المراحل الثلاث للولادة؛ و

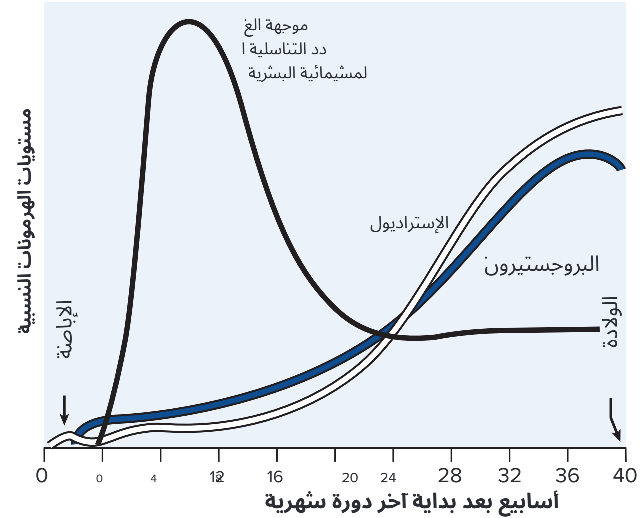
و. وصف التغيرات الفسيولوجية التى تحدث فى المرأة خلال الأسابيع التى تلى الولادة.

يتناول هذا القسم الحمل من وجهة نظر الأم — أى التكيفات التى تحدث فى الجسم مع الحمل وآلية الولادة. يتم وصف تطور الجنين فى الفصل التالى.

تستمر فترة الحمل (الحمل) فى المتوسط 266 يومًا من الإخصاب حتى الولادة، لكن عادةً ما يُقاس التقويم الحملى من اليوم الأول لآخر دورة شهرية (LMP). وبالتالى، من المتوقع أن تحدث الولادة بعد 280 يومًا (40 أسبوعًا) من تاريخ آخر دورة شهرية. تُوصف مدة الحمل، التى تُسمى *الفترة* عادةً بفواصل زمنية مدتها 3 أشهر تُسمى *الثلثيات*.

28.5a التطور قبل الولادة

يجب تقديم بعض الحقائق الأساسية عن تطور الجنين كأساس لفهم فسيولوجيا الأم.
جميع منتجات الحمل — الجنين أو الجنين بالإضافة إلى المشيمة والأ غشية المرتبطة بها — تُسمى مجتمعة الجنين . الفرد النامى هو كرة م جوفة تُسمى الكيسة الأريمية خلال معظم الأسبوعين الأولين، و الح نين من اليوم 16 حتى الأسبوع 8، و الجنين من بداية الأسبوع 9 حتى الولادة. يرتبط الجنين عبر الحبل السرى بقرص المشيمة على جدار الرحم. توفر المشيمة تغذية الجنين والتخلص من الفضلات، وتفرز هر مونات تنظم الحمل، وتطور الثدى، وتطور الجنين. خلال الأسابيع الأر بعة الأولى بعد الولادة، يُسمى الطفل حديث الولادة 39.



الشكل 28.19 مستويات الهرمونات خلال فترة الحمل.

؟ كيف يرتبط التغير فى نسبة الإستراديول إلى البروجسترون ببداية الق باصات المخاض؟

28.5ب هرمونات الحمل

الهرمونات التى لها التأثير الأقوى على الحمل هى الإستروجينات، وال بروجسترون، والهرمون المشيمى البشرى)hCG(، والهرمون المشيمى السوماتوماموتروبى البشرى. توفر مستويات هذه الهرمونات فى دم ا لأم على مدار فترة الحمل مؤشراً جيداً على صحة الجنين. يتم إفرازها بشكل رئيسى من المشيمة، لكن الجسم الأصفر)الكوربوس لوتيوم(ى عد مصدراً هاماً للهرمونات فى الأسابيع الأولى.

إذا تم إزالة الجسم الأصفر قبل الأسبوع السابع، فإن الحمل غالباً ما ين تهى بالإجهاص. من الأسبوع السابع إلى الأسبوع السابع عشر، يتحلل ا لجسم الأصفر بينما تتولى المشيمة وظائفه الصمائية.

الهرمون المشيمى البشرى)hCG(

الهرمون المشيمى البشرى)hCG( )CORE-ee-ON-ic go-NAD-oh-TRO-pin(يُفرز من الكيسة الأريمية والمشيمة. وجوده ف ى البول هو أساس اختبارات الحمل ويمكن اكتشافه باستخدام مجمو عات الاختبار المنزلية فى وقت مبكر يصل إلى 8 أو 9 أيام بعد الإخصا ب. يبلغ إفراز hCG ذروته حوالى الأسبوع العاشر إلى الثانى عشر ثم ين خفض إلى مستوى منخفض نسبياً لبقية فترة الحمل)الشكل 28.19(. مثل الهرمون اللوتينى)LH(، يحفز نمو الجسم الأصفر الذى يتضاع ف حجمه ويُفرز كميات متزايدة من البروجسترون والإستروجين. بدون hCG، يضمحل الجسم الأصفر ويطرد الرحم الجنين.

الإستروجينات

يزداد إفراز الإستروجين إلى حوالى 30 ضعف الكمية المعتادة بحلول نهاية الحمل. الجسم الأصفر هو مصدر هام للإستروجين خلال الأسابيع الـ 12 الأولى؛ وبعد ذلك، يأتى بشكل رئيسى من المشيمة. تفرز الغد د الكظرية للأم والجنين الأندروجينات التى تحولها المشيمة إلى إسترو جينات. أكثر الإستروجينات وفرة أثناء الحمل هو الإسترول، ولكن تأثيراته ضعيفة نسبيًا؛ الإسترديول أقل وفرة لكنه أقوى بمئة مرة.

الإستروجين يحفز نمو الأنسجة فى الجنين والأم.
يسبب تضخم رحم الأم والأعضاء التناسلية الخارجية، ونمو قنوات ال ثدى، وزيادة حجم الثديين إلى ما يقرب من ضعف حجمهما السابق.
كما يجعل الارتفاق العانى أكثر مرونة والمفاصل العجزية الحرقفية أك ثر ليونة، مما يؤدى إلى اتساع الحوض أثناء الحمل وتوسع مخرج الحو ض أثناء الولادة.

البروجستيرون

تفرز المشيمة كمية كبيرة من البروجسترون، وكذلك الجسم الأصفر ف ى بداية الحمل. يقوم البروجسترون والإستروجين بكبح إفراز الغدة النخ امية لهرمونى FSH وLH، مما يمنع تطور المزيد من الجريبات خلال ال حمل.
كما يكبح البروجسترون انقباضات الرحم حتى لا يتم طرد الجنين قبل ا لأوان. يمنع الحيض ويعزز تكاثر خلايا بطانة الرحم)الخلايا المقرنة(التى يتغذى عليها الكيسة الأريمية. بعد أن يحفز الإستروجين نمو قنوات ا لثدى، يحفز البروجسترون تطور الحويصلات الإفرازية - وهى خطوة أخر ى نحو الإرضاع.

الهرمون المشيمى البشرى المحفز لنمو الثدى

يُفرز الهرمون المشيمى البشرى المحفز لنمو الثدى)HCS(بكميات ت فوق مجموع جميع الهرمونات الأخرى، ومع ذلك فإن وظيفته هى الأق ل فهمًا. تبدأ المشيمة فى إفراز HCS حوالى الأسبوع الخامس ويزداد إ نتاجه تدريجيًا حتى موعد الولادة، بما يتناسب مع حجم المشيمة.

---

39 neo = جديد؛ nate = مولود، الولادة

28.5ح تعديلات على الحمل

يضع الحمل ضغطًا كبيرًا على الجسم ويتطلب تعديلات فى جميع أجهزة الجسم تقريبًا. يتم هنا وصف بعض التعديلات الرئيسية وتأثيرات الحمل.

الجهاز الهضمى، التغذية، والتمثيل الغذائى

بالنسبة للعديد من النساء، فإن أحد أول علامات الحمل هو غثيان الصباح — الغثيان، خاصة بعد النهوض من السرير — فى الأشهر القليلة الأولى من الحمل. السبب غير معروف. إحدى الفرضيات هى أنه ناتج عن انخفاض حركة الأمعاء بسبب الستيرويدات الخاصة بالحمل. وأخرى تفترض أنه تكيف تطورى لحماية الجنين. يكون الجنين أكثر عرضة للسموم فى نفس الوقت الذى يبلغ فيه غثيان الصباح ذروته. تميل النساء اللاتى يعانين من غثيان الصباح إلى تفضيل الأطعمة الخفيفة وتجنب الأطعمة الحارة والقوية الرائحة، والتى تحتوى على أعلى تركيز من المركبات التى قد تكون سامة للجنين. النساء اللاتى يعانين من غثيان الصباح لديهن معدلات إجهاض أقل ويملن إلى إنجاب أطفال أكبر حجمًا وأكثر صحة مع عيوب خلقية أقل. فى بعض الحالات، يتطور الغثيان إلى قىء. أحيانًا يكون هذا شديدًا بما يكفى ليستلزم الاستشفاء)انظر فرط القىء الحملى فى الجدول 28.5(.

الإمساك وحرقة المعدة شائعتان أثناء الحمل. الأول هو نتيجة أخرى لانخفاض حركة الأمعاء. أما الثانى فهو بسبب ضغط الرحم المتضخم على المعدة، مما يسبب ارتجاع محتويات المعدة إلى المرىء.

يرتفع معدل الأيض الأساسى حوالى 15% فى النصف الثانى من الحمل. غالبًا ما تشعر النساء الحوامل بالحرارة الزائدة بسبب ذلك وبسبب الجهد الناتج عن حمل الوزن الزائد. قد يكون الشهية

يُطلق على HCS أحيانًا *هرمون اللبن المشيمى البشرى* لأنه فى الثدييات الأخرى يسبب تطور الثدى والرضاعة؛ ومع ذلك، فإنه لا يحفز الرضاعة فى البشر. تبدو تأثيراته مشابهة لهرمون النمو، لكنها أضعف. كما يبدو أنه يقلل من حساسية الأم للأنسولين واستخدامها للجلوكوز بحيث تستهلك كمية أقل من الجلوكوز وتترك المزيد منه لاستخدام الجنين. يعزز HCS إطلاق الأحماض الدهنية الحرة من نسيج الدهون لدى الأم، مما يوفر مصدر طاقة بديل لخلاياها لاستخدامه بدلًا من الجلوكوز.

هرمونات أخرى

تحفز العديد من الهرمونات الأخرى تغييرات إضافية فى الجسم أثناء الحمل)الجدول 28.2(. ينمو غدة النخامية لدى المرأة الحامل بحوالى 50% وتنتج مستويات مرتفعة بشكل ملحوظ من الثيروتروبين، البرولاكتين، وACTH. كما يتضخم الغدة الدرقية بحوالى 50% تحت تأثير HCG، الثيروتروبين النخامى، و *الثيروتروبين المشيمى البشرى* من المشيمة. يزيد إفراز هرمونات الغدة الدرقية المرتفعة من معدل الأيض لدى الأم والجنين.
تتضخم الغدد الجار درقية وتحفز نشاط الخلايا الهادمة للعظام، مطلقة الكالسيوم من عظام الأم لاستخدام الجنين. يحفز ACTH إفراز الجلوكوكورتيكويدات، والتى قد تخدم بشكل رئيسى لتحرير الأحماض الأمينية لتخليق بروتين الجنين. يرتفع إفراز الألدوستيرون ويعزز احتباس السوائل، مما يساهم فى زيادة حجم دم الأم. تفرز الجسم الأصفر والمشيمة *الريلاكسين*، الذى يريح الرباط العانى فى الحيوانات الأخرى لكنه لا يبدو أن له هذا التأثير فى البشر. فى البشر، يتعاون مع البروجسترون فى تحفيز تكاثر خلايا بطانة الرحم فى بداية الحمل، ويعزز نمو الأوعية الدموية فى الرحم الحامل، ويمنع التقلصات الرحمية المبكرة.

الجدول 28.2 هرمونات الحمل

الهرمون	التأثيرات
موجهة الغدد التناسلية المشيمائية البشرية)HCG(	تمنع انكماش الجسم الأصفر وتحفز نموه ونشاطه الإفرازى؛ أساس اختبارات الحمل
الإستروجينات	تحفز نمو أنسجة الأم والجنين، بما فى ذلك تضخم الرحم والأعضاء التناسلية الأمومية؛ تحفز تطور قنوات الثدى؛ تليّن الارتفاق العانى والمفاصل العجزية الحرقفية، مما يسهل توسع الحوض أثناء الحمل والولادة؛ تثبط إفراز FSH وLH
البروجستيرون	تثبط التقلصات الرحمية المبكرة؛ تمنع الحيض؛ تحفز تكاثر خلايا المشيمة التى تغذى الجنين؛ تحفز تطور الحويصلات الثديية؛ تثبط إفراز FSH وLH
هرمون النمو المشيمى البشرى)HCS(	له تأثيرات ضعيفة محفزة للنمو مشابهة لهرمون النمو، وله تأثير توفير الجلوكوز للأم، مما يجعل الجلوكوز أكثر توافراً للجنين؛ يحفز تحرر الأحماض الدهنية لاستخدامها كوقود للأم
الهرمون المنشط للغدة الدرقية من الغدة النخامية	يحفز نشاط الغدة الدرقية ومعدل الأيض
الهرمون المشيمى الدرقى البشرى	نفس تأثير الهرمون الدرقى النخامى
هرمون الغدة الجار درقية	يحفز الخلايا الهادمة للعظم ويحرر الكالسيوم من الأم لاستخدام الجنين
هرمون قشر الكظر المُنشط	يحفز إفراز الجلوكوكورتيكويدات؛ يُعتقد أنه يحرك الأحماض الأمينية لتكوين بروتين الجنين
الألدوستيرون	يسبب احتباس السوائل، مما يساهم فى زيادة حجم دم الأم
الريلاكسين	يعزز تطور خلايا بطانة الرحم والأوعية الدموية فى الرحم الحامل؛ يمنع التقلصات الرحمية المبكرة

التجويف، مما يخفف بعض الضغط عن الحجاب الحاجز ويسمح بالتن
فس بسهولة أكبر.

الجهاز البولى

الألدوستيرون والستيرويدات الخاصة بالحمل تعزز احتباس الماء والم
لح بواسطة الكلى. ومع ذلك، فإن معدل الترشيح الكبيبى يزداد بنسبة
50٪ ويزداد إنتاج البول قليلاً. هذا يمكّن المرأة من التخلص من الفض
لات الأيضية الخاصة بها وبالجنين. مع ضغط الرحم الحامل على المثا
نة وتقليل سعتها، يصبح التبول أكثر تكرارًا وقد يحدث تسرب لا إرادى
للبول)سلس البول(.

الجهاز الجلدى

ينمو الجلد لاستيعاب توسع البطن والثديين وزيادة ترسيب الدهون
فى الوركين والفخذين. غالبًا ما يؤدى تمدد الأدمة إلى تمزق النسيج ا
لضام ويسبب **striae**)علامات التمدد(. تظهر هذه العلامات حمراء
فى البداية لكنها تتلاشى بعد الحمل. تزداد نشاط الخلايا الصباغية فى
بعض المناطق ويزداد اسمرار الهالة وحبل البياض. غالبًا ما يتحول الأ
خير إلى خط داكن، يُسمى **linea nigra**[40])الخط الأسود(، يمتد من السر
ة إلى منطقة العانة. كما تكتسب بعض النساء اسمرارًا مؤقتًا مرقّطًا ع
لى الجلد فوق الأنف والخدين يُسمى "قناع الحمل" أو **chloasma**[41])الك
لوزمة(، والذى يختفى عادةً بعد انتهاء الحمل.

نمو الرحم وزيادة الوزن

يزن الرحم حوالى 50 جرامًا عندما لا تكون المرأة حاملًا وحوالى 900 جر
ام بحلول نهاية الحمل. يتم مراقبة نموه عن طريق تحسس القاع، الذى
يصل فى النهاية تقريبًا إلى xiphoid process)النتوء الخنجرى( )ال
شكل 28.20(. يوضح الجدول 28.3 توزيع زيادة الوزن فى الحمل الص
حى النموذجى.

28.5د الولادة

فى الشهر السابع من الحمل، يتحول الجنين عادةً إلى وضعية الرأس
للأسفل *vertex position*. ونتيجة لذلك، يولد معظم الأطفال بالرأس
أولاً، حيث يعمل الرأس كوتد يوسع عنق الرحم والمهبل والفرج لدى ا
لأم أثناء الولادة. كان القدماء يعتقدون أن الجنين يركل الرحم ويدفع ن
فسه للخروج بالرأس أولاً. ومع ذلك، فإن الجنين لاعب سلبى إلى حد
كبير فى ولادته؛ إذ يتم إخراجه فقط بواسطة انقباضات عضلات الرحم
والبطن لدى الأم. ومع ذلك، هناك أدلة تشير إلى أن الجنين قد يلعب
دورًا ما فى ولادته من خلال تحفيز الانقباضات المخبرية وربما إرسال إ
شارات كيميائية تدل على أنه نضج بما يكفى ليولد، خاصة عندما تتطو
ر رئتيه بما يكفى للتنفس بمفرده.

ة، لكن المرأة الحامل تحتاج فقط إلى 300 سعرة حرارية إضافية يوميًا حتى ف
ى الثلث الأخير من الحمل. ومع ذلك، بعض النساء يفرطن فى الأكل ويكتس
بن ما يصل إلى 34 كجم)75 رطلاً(من الوزن مقارنة بمتوسط صحى يبلغ 11
كجم)24 رطلاً(. يجب أن تركز تغذية الأم على جودة الطعام المتناول، وليس ا
لكمية.
خلال الثلث الأخير من الحمل، يحتاج الجنين إلى المزيد من المغ
ذيات أكثر مما يمكن لجهاز الهضم لدى الأم امتصاصه. استعدادًا لذل
ك، يقوم المشيمة بتخزين المغذيات فى وقت مبكر من الحمل وتطل
قها فى الثلث الأخير. الطلب مرتفع بشكل خاص على البروتين، والحد
يد، والكالسيوم، والفوسفات. تحتاج المرأة الحامل إلى 600 ملغ إضا
فية من الحديد يوميًا لتلبية زيادة تكوين الدم لديها و375 ملغ يوميًا لل
جنين. من المحتمل أن تصاب بفقر الدم إذا لم تتناول كمية كافية من
الحديد خلال أواخر الحمل. غالبًا ما يُعطى فيتامين ك التكميلى فى أوا
خر الحمل لتعزيز تخليق البروثرومبين فى الجنين. فى الولايات المتحد
ة، يُعطى حديثو الولادة حقنة من فيتامين ك بشكل روتينى لتقليل خ
طر النزيف الوليدى، خاصة فى الدماغ، الناتج عن ضغوط الولادة. يساع
د مكمل فيتامين د على ضمان امتصاص كافٍ للكالسيوم لتلبية احتيا
جات الجنين. يقلل حمض الفوليك التكميلى من خطر الاضطرابات الع
صبية فى الجنين، مثل السنسنة المشقوقة وانعدام الدماغ)فشل تطو
ر المخ والمخيخ وقحف الجمجمة(، لكنه فعال فقط إذا تم تناوله بانتظا
م قبل الحمل.

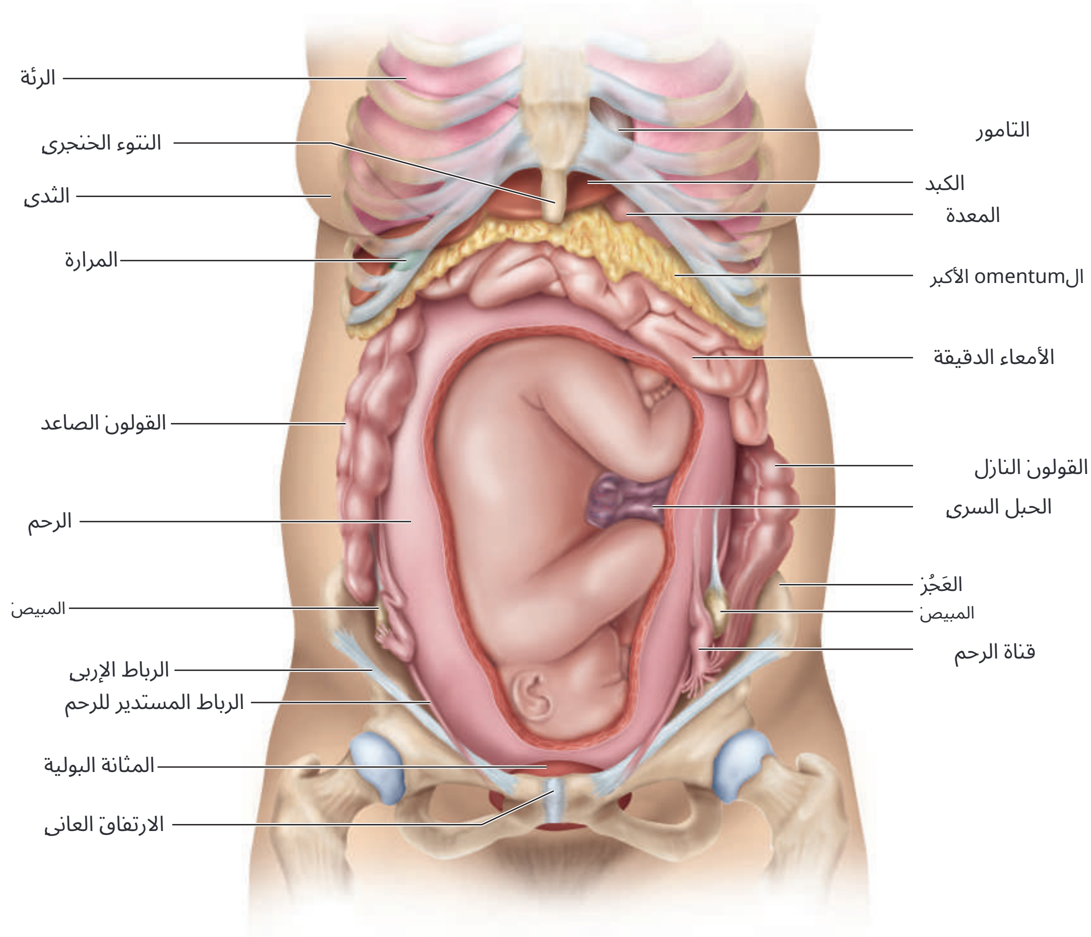
الجهاز الدورى

بحلول نهاية الحمل، تستقبل المشيمة حوالى 625 مل/دقيقة من دم
الأم. يرتفع حجم دم الأم حوالى 30% خلال الحمل بسبب احتباس ال
سوائل وتكوين الدم؛ وفى النهاية يكون لديها حوالى 1 إلى 2 لتر من الد
م الإضافى. يرتفع النتاج القلبى حوالى 30% إلى 40% فوق المستوى ا
لطبيعى بحلول الأسبوع 27، ولكن لأسباب غير معروفة، ينخفض تقر
يبًا إلى مستوى غير الحامل فى الأسابيع الثمانية الأخيرة. مع ضغط الر
حم الحامل على الأوعية الدموية الحوضية الكبيرة، يتداخل ذلك مع عو
دة الدم الوريدى من الساقين ومنطقة الحوض. يمكن أن يسبب ذلك ا
رتفاع ضغط الدم فى منطقة الحوض والأطراف السفلية، مما يؤدى إل
ى البواسير، والدوالى، والوذمة فى الكاحلين والقدمين.

الجهاز التنفسى

على مدار الحمل، يظل معدل التنفس ثابتًا لكن حجم التنفس)الحجم
المدّى(والتهوية الدقيقة تزداد حوالى 40%.
هناك سببان لذلك:)1(يرتفع الطلب على الأكسجين بنسبة تتناسب
مع زيادة معدل الأيض لدى المرأة واحتياجات الجنين المتزايدة.)2(يز
يد البروجسترون من حساسية مستقبلات الكيمياء التنفسية لدى المر
أة تجاه ثانى أكسيد الكربون، ويتم تعديل التهوية للحفاظ على ضغط ح
رئى منخفض لثانى أكسيد الكربون فى الشرايين)PCO_2(أقل من الط
بيعى. يعزز انخفاض PCO_2 لدى الأم انتشار CO_2 من مجرى دم الجنى
ن عبر المشيمة إلى دم الأم. مع تقدم الحمل، تشعر العديد من النساء
بزيادة فى "الجوع الهوائى")ضيق التنفس(ويبدين جهودًا واعية أكثر ل
لتنفس. يبدو أن هذا الإحساس ناتج عن زيادة حساسية CO_2 وضغط ا
لرحم المتزايد على الحجاب الحاجز فى أواخر الحمل. ومع ذلك، فى ال
شهر الأخير، عادةً ما يتسع الحوض بما يكفى ليسمح للجنين بالنزول إ
لى أسفل التجويف البطنى الحوضى، مما يخفف بعض الضغط عن ا
لحجاب الحاجز ويسمح بالتنفس بسهولة أكبر.

[40] *linea* = خط؛ *nigra* = أسود
[41] *chlo* = اخضر؛ *asma* = ان يكون



الشكل 28.20 الجنين الكامل النمو فى وضع القمة. لاحظ إزاحة وضغط الأحشاء البطنية.

فجأة إلى تقلصات العمل الأقوى. تقلصات العمل الحقيقية تشير إلى بداية الولادة ،(PAR-too-RISH-un) عملية الولادة.

قد يكون توازن البروجسترون والإستروجين)الإستراديول(أحد العوامل فى هذا النمط من زيادة القابلية للتقلص. ترتفع مستويات كلا الهرمونين على مدار فترة الحمل. يثبط البروجسترون تقلصات الرحم، لكن إفرازه يستقر أو ينخفض قليلاً بعد 6 أشهر، بينما يستمر إفراز الإستراديول فى الارتفاع)الشكل 28.19(. الإستراديول يحفز تقلصات الرحم وقد يكون عاملاً فى تهيّج الرحم فى أواخر الحمل.

أيضًا، مع اقتراب الحمل من نهايته، يفرز الغدة النخامية الخلفية المزيد من الأوكسيتوسين)OT(ويجهز عضل الرحم نفسه بمزيد من مستقبلات الأوكسيتوسين من خلال التنظيم التصاعدى. يعزز الأوكسيتوسين الولادة بطريقتين:)1(يحفز مباشرة عضلة الميوميتريوم؛ و)2(يحفز الأغشية الجنينية على إفراز البروستاجلاندينات، التى تعمل بالتآزر مع الأوكسيتوسين لإحداث تقلصات الولادة. تستمر الولادة لفترة أطول إذا نقص الأوكسيتوسين أو البروستاجلاندينات، وقد يتم تحفيزها أو تسريعها بإعطاء الأوكسيتوسين عن طريق الوريد أو تحاميل البروستاجلاندين المهبلية.

قد ينتج الجنين نفسه محفزات كيميائية تعزز ولادته. يرتفع إفراز الكورتيزول الجنينى فى أواخر الحمل \وقد يعزز إفراز الإستروجين من المشيمة. الجنين

الجدول 28.3 التوزيع النموذجى لزيادة الوزن فى الحمل	
Fetus	3 kg (7 lb)
المشيمة، الأغشية الجنينية، والسائل الأمنيوسى	1.8 كجم)4 أرطال(
الدم وسوائل الأنسجة	2.7 كجم)6 أرطال(
الدهون	1.4 كجم)3 رطل(
الرحم	0.9 كجم)2 رطل(
الثديان	0.9 كجم)2 رطل(
الإجمالى	**11 كجم)24 رطل(**

انقباضات الرحم

خلال فترة الحمل، يظهر الرحم تقلصات براكسون هيكس)Braxton Hicks(ضعيفة نسبيًا. تزداد هذه التقلصات قوة فى أواخر الحمل وغالبًا ما تدفع النساء إلى التسرع إلى المستشفى بسبب "الطلق الكاذب". ومع ذلك، عند الولادة ، تتحول هذه التقلصات

[42] جون براكسون هيكس)1823–1897(، طبيب نسائى بريطانى

مراحل الولادة

تحدث الولادة في ثلاث مراحل)الشكل 28.21(. وتميل مدة كل مرحلة لأن تكون أطول في الولادة الأولى [43])المرأة التي تلد لأول مرة(مقارنةً بـ الولادة المتكررة [44])المرأة التي أنجبت سابقًا(.

1. مرحلة التوسع)الأولى(. هذه هي أطول مرحلة، تستمر من 8 إلى 24 ساعة في الولادة الأولى، لكنها قد تستغرق دقائق قليلة فقط في الولادة المتكررة. وتتميز بتوسع)اتساع(قناة عنق الرحم و ترقق)تخفيف(عنق الرحم. يصل عنق الرحم إلى قطر أقصى يبلغ حوالي 10 سم)قطر رأس الطفل(. خلال التوسع، عادةً ما تتمزق الأغشية الجنينية ويتم إخراج السائل الأمنيوسي)ما يُعرف بـ "تمزق المياه"(.

غالبًا ما يُطلق على التوسع في الولادة مصطلح *التوسيع*(DIL-a-TAY-shun)، والذي يعني توسيع عضو ما إلى ما بعد الحدود الطبيعية التي تُرى في ظروف أخرى.

2. مرحلة الطرد)الثانية(. تستمر هذه المرحلة عادةً حوالي 30 إلى 60 دقيقة في الولادة الأولى وقد تستغرق دقيقة واحدة فقط في الولادة المتكررة. تبدأ عندما يدخل رأس الطفل المهبل و تستمر حتى يتم إخراج الطفل بالكامل. يُقال إن الطفل يتوج عندما يكون قمة رأسه مرئية، مما يمدد الفرج. ولادة الرأس هي الجزء الأصعب، بينما يتبع بقية الجسم بسهولة أكبر. قد يُجرى شق العجان خلال هذه المرحلة. غالبًا ما يستخدم المساعد مصباح شفط لإزالة المخاط من فم وأنف الطفل حتى قبل ولادته بالكامل. عند إخراج الطفل بالكامل، يقوم المساعد بتصريف دم الوريد السري إلى الطفل، ويُثبت الحبل السري في مكانين، ويُقطع الحبل بين المثبتين.

3. مرحلة المشيمة)الثالثة(. يستمر الرحم في الانقباض بعد إخراج الطفل. ومع ذلك، فإن المشيمة عضو غير عضلي لا يمكنه الانقباض، لذا تنفصل عن جدار الرحم. عادةً ما يُفقد حوالي 350 مل من الدم في هذه المرحلة، لكن انقباضات الميومتر تضغط على الأوعية الدموية وتمنع نزيفًا أكثر شدة. تُطرد المشيمة، والأمنيون، وبقية الأغشية الجنينية بواسطة انقباضات الرحم، والتي قد تُساعد بسحب لطيف على الحبل السري. يجب فحص الأغشية)المشيمة(بعناية للتأكد من إخراج كل شيء. إذا بقيت أي من هذه الهياكل داخل الرحم، فقد تسبب نزيفًا بعد الولادة. يتم عد الأوعية الدموية في الحبل السري لأن العدد غير الطبيعي قد يشير إلى تشوهات قلبية وعائية في الطفل.

[43] الأولى = الأول؛ *الولادة* = الولادة
[44] متعدد = كثير؛ *ولادة* = الولادات

تنتج الغدة النخامية أيضًا الأوكسيتوسين، الذي لا يدخل الدورة الدموية للأم ولكنه قد يعزز إفراز البروستاجلاندين كما ذُكر سابقًا.

يُعتقد أيضًا أن تمدد الرحم يلعب دورًا في بدء الولادة. يزيد تمدد أي عضلة ملساء من قابليتها للانقباض، وحركات الجنين تُنتج نوعًا من التمدد المتقطع الذي يحفز بشكل خاص عضلة الرحم)الميومتر(. يُولد التوأم في \متوسط 19 يومًا قبل الأطفال الوحيدين، ربما بسبب التمدد الأكبر للرحم. عندما يكون الجنين في وضع القمة، يدفع رأسه ضد عنق الرحم، الذي يكون حساسًا بشكل خاص للتمدد.

انقباضات الولادة

تبدأ انقباضات الولادة بفاصل زمني حوالي 30 دقيقة. مع تقدم الولادة، تصبح أكثر شدة وفي النهاية تحدث كل 1 إلى 3 دقائق. من المهم أن تكون متقطعة وليس انقباضًا واحدًا طويلًا مستمرًا. كل انقباض يضغط على الشرايين في جدار الرحم ويقلل بشكل حاد من تدفق الدم الأمومي إلى المشيمة، لذا يجب أن يسترخي الرحم بشكل دوري لاستعادة التدفق وتوصيل الأكسجين إلى الجنين. تكون الانقباضات أقوى في قاع وجسم الرحم وأضعف بالقرب من عنق الرحم، مما يدفع الجنين إلى الأسفل.

وفقًا لنظرية التغذية الراجعة الإيجابية للولادة، تُحفّز تقلصات الولادة بتمدد عنق الرحم. هذا يؤدي إلى انقباض انعكاسي في جسم الرحم يدفع الجنين إلى الأسفل ويزيد من تمدد عنق الرحم أكثر. وهكذا، يحدث دورة ذاتية التعزيز من التمدد والانقباض. بالإضافة إلى ذلك، يسبب تمدد عنق الرحم انعكاسًا عصبيًا صماويًا عبر الحبل الشوكي، والوطاء، والجزء الخلفي من الغدة النخامية. تقوم الغدة النخامية الخلفية بإفراز الأوكسيتوسين، الذي يُنقل عبر الدم ويحفز عضلة الرحم مباشرة ومن خلال تأثير البروستاجلاندينات.

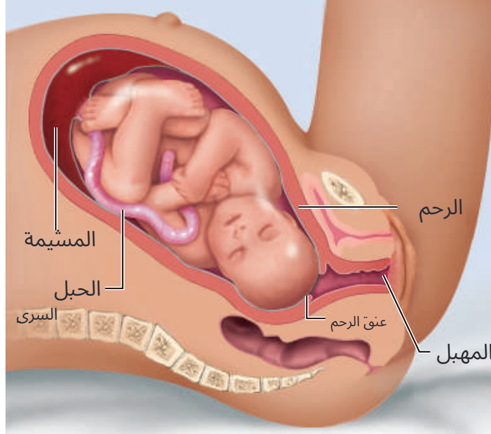
هذه أيضًا دورة تغذية راجعة إيجابية: تمدد عنق الرحم ←إفراز الأوكسيتوسين ← انقباض الرحم ←تمدد عنق الرحم)انظر الشكل 1.9(. مع تقدم الولادة، تشعر المرأة برغبة متزايدة في "الضغط للأسفل". يمتد قوس انعكاسي من الرحم إلى الحبل الشوكي ثم إلى عضلات البطن الهيكلية. يساعد انقباض هذه العضلات - جزئيًا انعكاسي وجزئيًا إرادي - في طرد الجنين، خاصة عند الجمع بينه وبين مناورة فالسالفا لزيادة الضغط داخل البطن.

ألم الولادة يرجع في البداية بشكل رئيسي إلى نقص التروية الدموية في عضلة الرحم)الميومتر(، فالعضلة تتألم عند حرمانها من الدم، وكل انقباض ولادي يقيّد مؤقتًا الدورة الدموية في الرحم. مع دخول الجنين إلى قناة المهبل، يزداد الألم بسبب تمدد عنق الرحم والمهبل والعجان وأحيانًا تمزق الأنسجة. في هذه المرحلة، قد يقوم طبيب التوليد بإجراء *شق العجان* — وهو قطع في الفرج لتوسيع فتحة المهبل ومنع التمزقات العشوائية. ألم الولادة البشرية، مقارنة بسهولة الولادة عند الثدييات الأخرى، هو نتاج تطوري لعاملين: حجم الدماغ والرأس الكبير غير المعتاد للرضيع البشري، وضيق مخرج الحوض الذي ساعد في تكييف الإنسان على المشي على قدمين.

الشكل 28.21 مراحل الولادة.

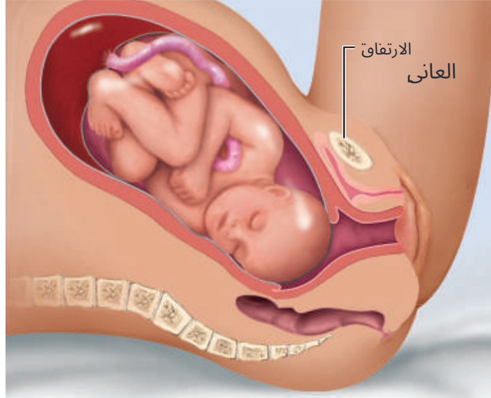
)تتويج الرأس، مرحلة الطرد(: ;Petit Format/Science Source
)المشيمة بعد الولادة(: Medicshots/Alamy Stock Photo

مرحلة التوسع المبكرة





مرحلة التوسع المتاخرة

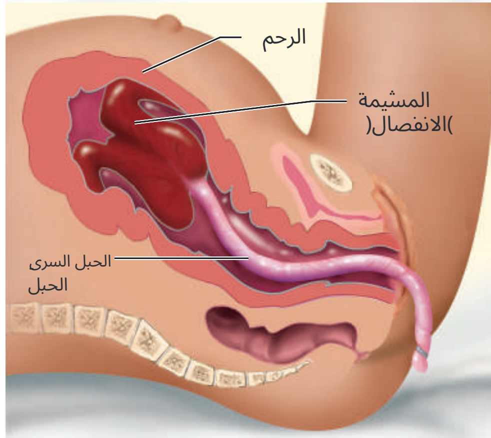


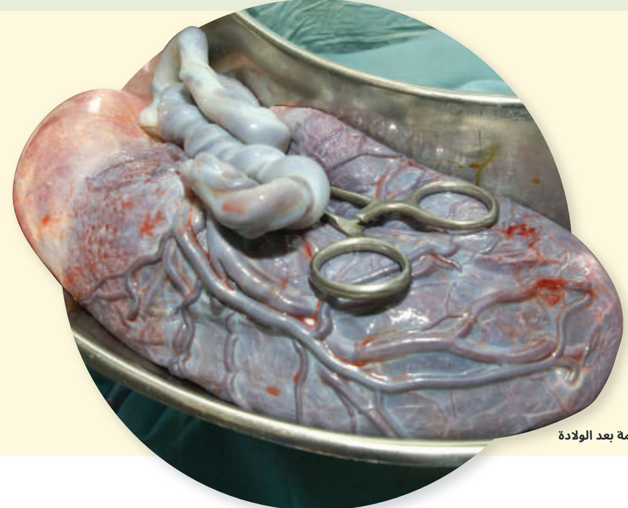
مرحلة الطرد





مرحلة المشيمة





الرضاعة هى تخليق وإخراج الحليب من الغدد الثديية. تستمر لمدة أ
سبوع واحد فقط فى النساء اللاتى لا يرضعن، لكنها يمكن أن تستمر
لسنوات عديدة طالما أن الثدى يتم تحفيزه بواسطة طفل يرضع أو جها
ز ميكانيكى)مضخة الثدى(. تشير العديد من الدراسات التى أُجريت
قبل الانتشار الواسع لتسويق الحليب الصناعى إلى أن النساء حول الع
الم كن يرضعن أطفالهن تقليديًا حتى عمر وسطى يقارب 2.8 سنة.

28.6أ تطور الغدد الثديية

مستوى الإستروجين العالى أثناء الحمل يحفز قنوات الغدد الثديية عل
ى النمو والتفرع بشكل واسع. كما يساهم هرمون النمو، والأنسولين، و
الجلوكوكورتيكويدات، والبرولاكتين فى هذا التطور. بمجرد اكتمال القن
وات، يحفز البروجسترون التبرعم وتطور الحويصلات)الأكينى(فى نها
يات القنوات)انظر الشكل 28.9(.

28.6ب تركيب اللبأ والحليب

فى أواخر الحمل، تتمدد الحويصلات والقنوات الثديية بإفراز يُسمى ا
للبأ. هذا مشابه لحليب الثدى من حيث محتوى البروتين واللاكتوز لك
نه يحتوى على حوالى ثلث الدهون أقل. وهو المصدر الطبيعى الوحيد
لتغذية الرضيع خلال الأيام الأولى من 1 إلى 3 أيام بعد الولادة. اللبأ له
قوام رقيق مائى ولون أصفر غائم. كمية اللبأ التى تُفرز يوميًا لا تتجاوز
1% من كمية الحليب التى تُفرز لاحقًا، ولكن بما أن الأطفال يولدون
بماء زائد فى الجسم وكمية كافية من الدهون، فهم لا يحتاجون إلى مد
خلات عالية من السعرات الحرارية أو السوائل فى البداية.

فائدة رئيسية للبأ هى احتواؤه على الغلوبولينات المناعية، وخاصة Ig
A. يقاوم IgA الهضم وقد يحمى الرضيع من التهاب المعدة
والأمعاء. كما يُعتقد أنه يُبتلع عن طريق الأمعاء الدقيقة ويمنح مناعة أ
وسع وجهازية للوليد.

يُعزز تركيب الحليب بواسطة البرولاكتين، وهو هرمون من الغدة
النخامية الأمامية. فى الحالة غير الحامل، الدوبامين)هرمون مثبط ل
لبرولاكتين(من الوطاء يمنع إفراز البرولاكتين. يبدأ إفراز البرولاكتين بع
د 5 أسابيع من الحمل، وبحلول نهاية الحمل يكون 10 إلى 20 ضعف
مستواه الطبيعى.
ومع ذلك، فإن للبرولاكتين تأثيرًا ضئيلًا على الغدد الثديية حتى بعد الو
لادة. بينما تحضر الستيرويدات أثناء الحمل الغدد الثديية للرضاعة، فإ
نها تعارض البرولاكتين وتثبط تركيب الحليب. عند خروج المشيمة ع
ند الولادة، تنخفض مستويات الستيرويدات فجأة مما يسمح للبرولاك
تين بأن يكون له تأثير أقوى. يُصنع الحليب بكميات متزايدة خلال الأ
سبوع التالى. كما يتطلب تركيب الحليب عمل هرمون النمو، والكورتى
زول، والأنسولين، وهرمون الغدة الجار درقية لتحريك الأحماض الأمين
ية، والأحماض الدهنية، والجلوكوز، والكالسيوم اللازمة.

عند الولادة، ينخفض إفراز البرولاكتين الأساسى إلى المستوى غى
ر الحامل. ومع ذلك، فى كل مرة يرضع فيها الطفل، يرتفع إلى 10 إلى
20 ضعف هذا المستوى لمدة ساعة تالية و

28.5e فترة النفاس

الأسابيع الستة الأولى بعد الولادة)بعد الولادة(تُسمى فترة النفاس[45] (PYU-er-PEER-ee-um)، وهى فترة تستقر فيها تشريح
الأم ووظائفها الفسيولوجية وتعود الأعضاء التناسلية تقريبًا إلى حالتها
قبل الحمل.
انكماش الرحم خلال هذه الفترة يُسمى الانقلاب)involution(.
فى المرأة المرضعة، يفقد الرحم حوالى 50% من وزنه فى الأسبوع الأو
ل ويعود تقريبًا إلى وزنه قبل الحمل خلال 4 أسابيع. يتم تحقيق الانقلا
ب عن طريق التحلل الذاتى)autolysis(لخلايا الرحم بواسطة إنزيما
ت الليسوسوم الخاصة بها. لمدة حوالى 10 أيام، ينتج عن ذلك إفراز م
هبلى يُسمى اللوكيا)lochia(، والذى يكون دمويًا فى البداية ثم يتحول
إلى صافٍ ومائى. يشجع الرضاعة الطبيعية على الانقلاب لأن)1(تمن
ع إفراز الإستروجين، الذى كان سيجعل الرحم يبقى أكثر ارتخاءً؛ و)2(
تحفز إفراز الأوكسيتوسين، الذى يسبب انقباض عضلة الرحم)الميوم
تر(ويُصلب الرحم بشكل أسرع. من المهم أن تمر فترة النفاس دون ا
ضطرابات، حيث يمكن أن تؤدى الاضطرابات العاطفية إلى تثبيط الر
ضاعة الطبيعية لدى بعض النساء.

قبل أن تتابع

أجب أو أكمل ما يلى لاختبار فهمك للقسم السابق:

18. اذكر أدوار هرمون موجهة الغدد التناسلية المشيمائية)HCG(، والإستروجين، والبروجسترون، وهرمون الحليب البشرى)HCS(خلال الحمل.
19. ما هو دور الجسم الأصفر)corpus luteum(فى الحمل؟ وما هو الحد
ث الذى يتولى هذا الدور فى النهاية؟
20. اذكر واشرح بإيجاز المتطلبات الغذائية الخاصة بالحمل.
21. كم يبلغ متوسط زيادة الوزن لدى المرأة أثناء الحمل؟ وما الذى يساه
م فى هذه الزيادة فى الوزن بخلاف الجنين؟
22. صف نظرية التغذية الراجعة الإيجابية للولادة.
23. ما هى الأحداث الرئيسية التى تحدد المراحل الثلاث للولادة؟

28.6 **الرضاعة**

نتائج التعلم المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف تطور الثديين أثناء الحمل؛
ب. وصف التغير فى التوازن الهرمونى الذى ينظم بداية واستمرار الر
ضاعة؛
ج. وصف آلية إخراج الحليب؛
د. مقارنة اللبأ بحليب الثدى؛ و
هـ. ناقش فوائد الرضاعة الطبيعية.

[45] *puer* = طفل؛ *per* = لكل)من ولادة(= الولادة

طبِّق ما تعرفه

عندما ترضع المرأة طفلها من ثدى واحد، هل تتوقع أن يفرز الحل
ب من ذلك الثدى فقط، أم من كلا الثديين؟ اشرح السبب.

28.6د حليب الثدى

الجدول 28.4 يقارن تركيب اللبأ، حليب الإنسان، وحليب البقر. يتغير تركيب حليب الثدى خلال أول أسبوعين، ويختلف من وقت لآخر خلال اليوم، ويتغير حتى خلال جلسة الرضاعة الواحدة. على سبيل المثال، فى نهاية الرضاعة يكون هناك كمية أقل من اللاكتوز والبروتين فى الحليب، ولكن كمية الدهون تكون ستة أضعاف ما هى عليه فى البداية.

حليب البقر ليس بديلاً جيدًا لحليب الإنسان. يحتوى على ثلث كم
ية اللاكتوز أقل ولكنه يحتوى على ثلاثة إلى خمسة أضعاف كمية البرو
تين والمعادن. البروتين الزائد يشكل خثرة أكثر صلابة فى معدة الرضي
ع، لذا فإن حليب البقر لا يُهضم ويمتص بكفاءة مثل حليب الأم. كما أ
نه يزيد من إفراز الفضلات النيتروجينية لدى الرضيع، مما يزيد من حد
وث وشدة طفح الحفاض، خاصةً مع قيام البكتيريا فى الحفاض بتحلي
ل اليوريا إلى الأمونيا، وهى مادة مهيجة للجلد.

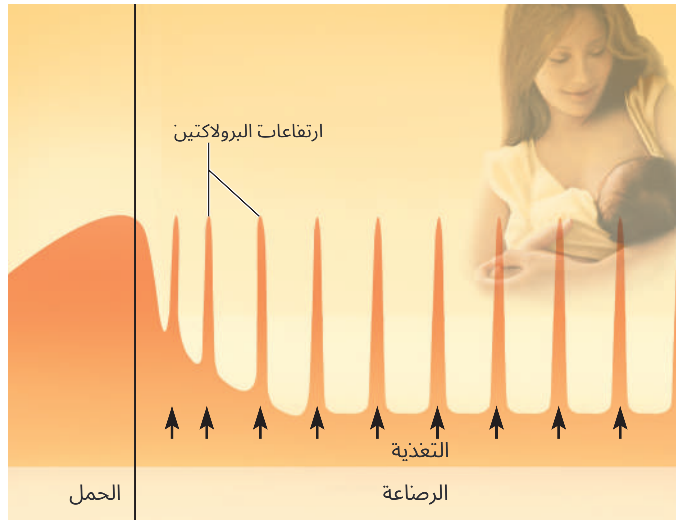
الكولستروم والحليب لهما تأثير ملين يساعد على تنظيف أمعاء ا
لوليد من *الميكونيوم*، وهو مادة برازية لزجة سوداء مخضرة تتكون من
الصفراء وخلايا الطهارة ونفايات أخرى تراكمت خلال التطور الجنينى. م
ن خلال تنظيف الصفراء والبيليروبين من الجسم، يقلل الرضاعة الط
بيعية أيضًا من حدوث ودرجة اليرقان لدى حديثى الولادة. يعزز حليب
الأم استعمار أمعاء الوليد بالبكتيريا المفيدة ويوفر أجسامًا مضادة تمن
ح حماية ضد العدوى بالبكتيريا الممرضة. كما تميل الرضاعة الطبيعية
إلى تعزيز علاقة أوثق بين الأم والرضيع.

تنتج المرأة التى ترضع طفلًا واحدًا فى النهاية حوالى 1.5 لتر من ا
لحليب يوميًا؛ والنساء اللاتى لديهن توائم ينتجن أكثر. تضع الرضاعة ا
لطبيعية عبئًا أيضيًا كبيرًا على الأم. وهى تعادل

الجدول 28.4 مقارنة بين الكولستروم، حليب الإنسان، وحليب البقر*

حليب ا لبقر	حليب الإ نسان	اللبأ ال بشرى	مغذٍ
30.9	10.6	22.9	إجمالى البروتين)جم/لتر(
25.0	3.7	—	لاكتالبومين)جم/لتر(
2.3	3.6	—	الكازين)جم/ل(
0.8	0.09	19.4	الجلوبيولينات المناعية)جم/ل(
38.0	45.4	29.5	الدهون)جم/ل(
47	71	57	اللاكتوز)جم/لتر(
1,370	344	481	الكالسيوم)ملجم/لتر(
910	141	157	الفوسفور)ملغم/لتر(

بيانات اللبأ هى لليوم الأول بعد الولادة، وبيانات حليب الإنسان هى لـ "الحليب الناضح" بعد حوالى 15 يومًا من الولادة.



الشكل 28.22 إفراز البرولاكتين فى الأنثى المرضعة.
فى كل مرة يرضع فيها الرضيع، يرتفع إفراز البرولاكتين لدى الأم.
هذا يحفز تخليق الحليب الذى سيكون متاحًا فى التغذية التالية.

يحفز تخليق الحليب للرضاعة التالية)الشكل 28.22(.
ترافق هذه الارتفاعات فى البرولاكتين زيادات أصغر فى
إفراز الإستروجين والبروجسترون. إذا لم ترضع الأم
أو غابت هذه الارتفاعات الهرمونية)بسبب تلف الغدة النخامية،
على سبيل المثال(، تتوقف الغدد الثديية عن إنتاج الحليب خلال
حو أسبوع. وحتى إذا قامت بالرضاعة، ينخفض إنتاج الحليب بعد
7 إلى 9 أشهر.
فقط 5% إلى 10% من النساء يحملن مرة أخرى أثناء الرضاعة ال
طبيعية. من الواضح أن البرولاكتين أو الإشارات العصبية من الثدى
تثبط إفراز هرمون GnRH، مما يؤدى بدوره إلى تقليل إفراز الهرمونات
المنشطة للمبيض ودورة المبيض. قد يكون هذا الآلية تطورت كوسي
لة طبيعية لتباعد الولادات، لكن الرضاعة الطبيعية ليست وسيلة مو
ثوقة لمنع الحمل. حتى فى النساء اللواتى يرضعن، قد تستأنف دورة ا
لمبيض بعد عدة أشهر من الولادة. أما فى اللواتى لا يرضعن، فتستأن
ف الدورات خلال أسابيع قليلة، لكنها عادة ما تكون بدون إباضة خلال ا
لأشهر الستة الأولى.

28.6ح طرد الحليب

يُفرز الحليب باستمرار فى الحويصلات الثديية، لكنه لا يتدفق بسهولة
إلى القنوات. تدفقه، المسمى طرد الحليب)الإفراز(، يتحكم فيه انع
كاس عصبى-غدى. يحفز مص الرضيع نهايات الأعصاب فى الحلمة وا
لهالة، والتى بدورها ترسل إشارات إلى الوطاء والغدة النخامية الخلفية
لإفراز الأوكسيتوسين. يحفز الأوكسيتوسين الخلايا العضلية الطهارية ا
لتى تحيط بكل حويصلة غدية)انظر الشكل 28.9د(. هذه الخلايا من أ
صل طهارى، لكنها مليئة بالأكتين وتتقلص مثل العضلات الملساء ل
تعصر الحليب من الحويصلة إلى القناة. لا يحصل الرضيع على أى حلي
ب خلال أول 30 إلى 60 ثانية من المص، لكن الحليب يملأ القنوات و
جيوب الحليب بسرعة ثم يُمكن شفطه بسهولة.

ا من الدهون، و100 جرام من اللاكتوز)المصنوع من جلوكوز دمها(، و2 إلى 3 جرامات من فوسفات الكالسيوم يوميًا. يزيد الرضاعة الطبيعية من خطر فقدا ن العظام أكثر من الحمل، لأن معظم هيكل الطفل لا يزال غضروفًا عند الولاد ويصبح متكلسًا على حساب الأم في السنة الأولى بعد الولادة. إذا لم تكن لدى الأم المرضعة كمية كافية من الكالسيوم وفيتامين د في نظامها الغذائي، فإن الرضاعة تحفز إفراز هرمون الغدة الجار درقية ونشاط الخلايا الهادمة للعظم، م ما يأخذ الكالسيوم من عظامها لتزويد طفلها. ومع ذلك، هناك أدلة على أنه ع لى المدى الطويل، النساء اللاتي يرضعن في وقت مبكر من حياتهن لديهن ع ظام أكثر كثافة وقوة في وقت لاحق من الحياة.

لاختتام هذا الفصل، الجدول 28.5 يصف بإيجاز بعض اضطرابا ت الجهاز التناسلي الأنثوي الشائعة.

قبل أن تتابع

أجب عن الأسئلة التالية لاختبار فهمك للقسم السابق:

24. لماذا يتم إفراز القليل أو لا يتم إفراز الحليب أثناء حمل ال مرأة؟
25. كيف يختلف الثدي المُرضع عن الثدي غير المُرضع في التركي ب؟ ما الذي يحفز هذه الاختلافات لتتطور خلال الحمل؟
26. ما هو اللبأ وما هي أهميته؟
27. كيف يحفز الرضاعة انطلاق الحليب؟
28. لماذا حليب الأم أفضل من حليب البقر للرضيع؟

الجدول 28.5	بعض اضطرابات الجهاز التناسلي الأنثوي
انقطاع الطمث	غياب الحيض. طبيعي أثناء الحمل، والرضاعة، والمراهقة المبكرة، وسنوات ما قبل انقطاع الطمث، لكنه قد ينتج أيضًا عن نقص إفراز الهرمونات ا لمنبهة للمبيض)gonadotropin(، أو اضطرابات جينية، أو اضطرابات في الجهاز العصبي المركزي، أو نقص في الدهون بالجسم.
عسر الطمث	الحيض المؤلم في غياب أمراض الحوض، ناتج عن إفراز مفرط للبروستاجلاندين في بطانة الرحم. تحفز البروستاجلاندينات تقلصات مؤلمة في عضلة الرحم)myometrium(والأوعية الدموية الرحمية. عادةً ما يبدأ ذلك حوالي سن 15 أو 16 و يؤثر على ما يصل إلى 75% من النساء بين 15 و25 سنة في بعض الأحيان. قد يصاحب ذلك الورم العضلي الأملس)leiomyoma(.
الورم العضلي الأملس)الأورام الليفية الرحمية(	ورم حميد في عضلة الرحم الملساء. عادةً ما يكون صغيرًا ولا يسبب أعراضًا، لكنه قد يكبر جدًا وقد يسبب نزيفًا رحميًا غير طبيعي، أو حيضًا غزيرًا، وعسر الطمث.
اضطرابات الحمل	
انفصال المشيمة المفاجئ[46]	الانفصال المبكر للمشيمة عن جدار الرحم، غالبًا ما يرتبط بتسمم الحمل أو تعاطي الكوكايين. قد يتطلب الولادة عن طريق العملية القيصرية.
الحمل خارج الرحم[47]	زرع الجنين في أي مكان غير الرحم؛ عادة في قناة فالوب)الحمل الأنبوبي(ولكن أحيانًا في تجويف البطن والحوض. انظر التعمق 29.2 لمزيد من التفاصيل.
سكري الحمل	شكل من أشكال داء السكري يتطور في حوالي 1% إلى 3% من النساء الحوامل، يتميز بمقاومة الأنسولين، فرط سكر الدم ، ووجود السكر في البول، وخطر زيادة حجم الجنين وحدوث صدمات الولادة. غالبًا ما يعود استقلاب الجلوكوز إلى طبيعته بعد ولاد ة الطفل، لكن 40% إلى 60% من النساء المصابات بسكري الحمل يصبن بداء السكري خلال 15 سنة بعد الحمل.
فرط القيء الحملي[48]	القيء الشديد، الجفاف، القلاء، وفقدان الوزن في بداية الحمل، غالبًا ما يتطلب الاستشفاء لتثبيت توازن السوائل، الكهارل، و توازن الحمض-القاعدة؛ أحيانًا يرتبط بتلف الكبد.
المشيمة المنزاحة[49]	انسداد قناة عنق الرحم بواسطة المشيمة، مما يمنع ولادة الطفل قبل انفصال المشيمة عن الرحم. يتطلب الولادة عن طريق العم لية القيصرية.
تسمم الحمل[50]	ارتفاع ضغط الدم الحملي وبروتينوريا، غالبًا مع وذمة في الوجه واليدين، تحدث بشكل خاص في الثلاثة أشهر الأخيرة من الحمل لدى الحوامل لأول مرة. مرتبط بتطور غير طبيعي لشرايين المشيمة، مما قد يؤدي إلى تخثر واسع النطاق واضطراب في وظائف الأعضاء لدى الأم. يحدث في 5% إلى 8% من حالات الحمل. أحيانًا يتطور إلى تسمم الحمل الحاد)تشنجات(، والذي قد يكون مميتًا للأم أو الجنين أو كليهما. قد يحدث تسمم الحمل الحاد بعد الولادة.
الإجهاض التلقائي	يحدث في 10% إلى 15% من حالات الحمل، عادة بسبب تشوهات جينية أو اضطرابات كروموسومية غير متوافقة مع البقاء على قيد الحياة، ولكن قد ينتج أيضًا عن اضطرابات الأم، الأمراض المعدية، وتعاطي المخدرات.
يمكنك العثور على اضطرابات أخرى في الجهاز التناسلي الأنثوي موصوفة في الأماكن التالية:	
الأمراض المنقولة جنسيًا في نظرة أعمق 27.5؛ سرطان الثدي في القسم 28.1ح؛ سرطان عنق الرحم في نظرة أعمق 28.1؛ و الانتباذ البطاني الرحمي في نظرة أعمق 28.4.	

[46] ab = بعيد؛ rupt = يتمزق؛ placentae= المشيمة
[47] ec = خارج؛ top= مكان
[48] hyper= مفرط؛ emesis= تقيؤ؛ gravida = امرأة حامل
[49] pre= قبل؛ via = الطريق)معيق الطريق(
[50] ec = إلى الأمام؛ lampsia = متألق



نظرة أعمق 28.5

التطبيق السريرى

طرق منع الحمل

يُستخدم مصطلح منع الحمل هنا ليعنى أى إجراء أو جهاز يهدف إلى منع الحمل)و جود جنين مزروع فى الرحم(. تصف هذه المقالة أكثر طرق منع الحمل شيوعًا، وبع ض القضايا المتعلقة بالاختيار بينها، وموثوقيتها النسبية. تم عرض عدة خيارات فى الشكل 28.23.

الطرق السلوكية

الامتناع)الامتناع عن الجماع(هو بالطبع طريقة موثوقة تمامًا إذا تم استخدامها با ستمرار. تعتمد طريقة الوعى بالخصوبة)المعروفة سابقًا باسم طريقة الإيقاع(على تجنب الجماع قرب وقت الإباضة المتوقع. بين المستخدمين العاديين، تبلغ نسبة الفشل 25% جزئيًا بسبب نقص الانضباط وجزئيًا لأن من الصعب تحديد التاريخ ا لدقيق للإباضة. يجب تجنب الجماع لمدة 7 أيام على الأقل قبل الإباضة حتى لا ت بقى حيوانات منوية فى الجهاز التناسلى عند إطلاق البويضة، ولمدة يومين على الأ قل بعد الإباضة حتى لا تكون هناك بويضة خصبة عند دخول الحيوانات المنوية. و مع ذلك، فإن هذه الطريقة ذات قيمة للأزواج الذين يحاولون الحمل من خلال الجم اع فى وقت الإباضة الطاهرة.

الانسحاب)الجماع المقاطع(يتطلب من الذكر سحب القضيب قبل القذف. غالبًا ما تفشل هذه الطريقة بسبب نقص الإرادة، لأن الحيوانات المنوية تكون أحيانًا موجودة فى السائل السابق للقذف، ولأن الحيوانات المنوية التى تُقذف فى أى مكان فى الفرج يمكن أن تدخل الجهاز التناسلى.

طرق الحاجز والمواد القاتلة للحيوانات المنوية

تم تصميم طرق الحاجز لمنع وصول الحيوانات المنوية إلى داخل المهبل أو تجاوزه. وتكون أكثر فعالية عند استخدامها مع المواد الكيميائية القاتلة للحيوانات المنوية، المتوفرة على شكل رغوات وكريمات وجل بدون وصفة طبية.

الواقى الذكرى هو غلاف من اللاتكس أو المطاط أو غشاء حيوانى)أمعاء الحملا ن(يُلف على القضيب المنتصب ويجمع السائل المنوى. إنه رخيص ومريح وموثو ق جدًا عند استخدامه بعناية. حوالى 25% من الأزواج الأمريكيين الذين يستخدمو ن وسائل منع الحمل يستخدمون الواقيات فقط، والتى تحتل المرتبة الثانية بعد ح بوب منع الحمل من حيث الشعبية.

الواقى الأنثوى أقل استخدامًا. هو غلاف من البولى يوريثان يحتوى على حلقة م رنة فى كل طرف. الحلقة الداخلية تناسب عنق الرحم، والحلقة الخارجية تغطى الأع ضاء التناسلية الخارجية. الواقيات الذكرية والأنثوية هى وسائل منع الحمل الوحيدة التى تحمى أيضًا من انتقال الأمراض.

ومع ذلك، فإن الواقيات المصنوعة من الأغشية الحيوانية مسامية لفيروسات الإيد ز والتهاب الكبد ب، ولا توفر حماية موثوقة من الأمراض.

الحجاب الحاجز هو قبة من اللاتكس أو المطاط توضع فوق عنق الرحم لمنع ه جرة الحيوانات المنوية. يتطلب فحصًا طبيًا ووصفة طبية لضمان الملاءمة الصحى حة، لكنه من حيث الراحة والموثوقية مشابه للواقى الذكرى، بشرط استخدامه مع مادة قاتلة للحيوانات المنوية.

بدون مادة قاتلة للحيوانات المنوية، لا يكون فعالًا جدًا.

الإسفنجة هى قرص من الرغوة يُدخل قبل الجماع لتغطية عنق الرحم. وهى م شبعة بمادة قاتلة للحيوانات المنوية وتعمل عن طريق حجز الحيوانات المنوية وق تلها. لا تتطلب وصفة طبية أو ملاءمة. توفر الإسفنجة



الواقى الذكرى



الواقى الأنثوى



الحجاب الحاجز مع هلام منع الحمل



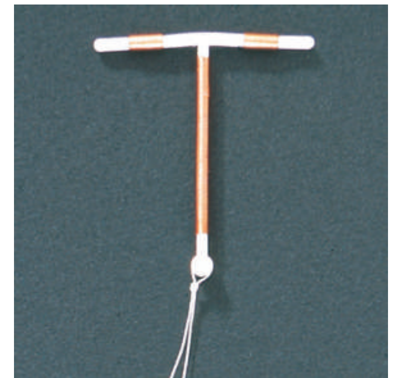
رغوة منع الحمل مع مطبق مهبلى



حبوب منع الحمل



الخاتم المهبلى



اللولب النحاسى

الشكل 28.23 أجهزة منع الحمل.

)الواقى الذكرى، الواقى الأنثوى، الحجاب الحاجز، رغوة منع الحمل، حبوب منع الحمل، واللولب(: بوب كويل/ماكجرو هيل؛)الحلقة المهبلية(: imageBROKER/صورة الامى ستوك

)مستمر(

بطانة الرحم وتحفزها على تدمير الحيوانات المنوية أو تثبيط حركتها.
لدى اللولب تكلفة أولية أعلى من الطرق الأخرى، لكنه يمكن تركه فى
المكان لمدة تتراوح بين ٥ إلى ٢١ سنة وله معدل فشل منخفض جداً.

التعقيم الجراحى

الأشخاص الذين يثقون بعدم رغبتهم فى إنجاب المزيد من الأطفال)أو أى أطفال(
غالباً ما يختارون التعقيم الجراحى. يتضمن ذلك قطع وربط أو تثبيت القناة الناقلة
للحيوانات المنوية)القناة المنوية(لدى الذكر)القطع القنوى(أو قناتى فالوب لدى
الأنثى)ربط قناتى فالوب[51](، مما يمنع مرور الحيوانات المنوية أو البويضات. يتم
يز التعقيم الجراحى بالراحة، حيث لا يتطلب متابعة لاحقة. ومع ذلك، فإن تكلفته ا
لأولية أعلى، وللأشخاص الذين يغيرون رأيهم لاحقاً، فإن عكس العملية الجراحية أ
كثر تكلفة بكثير من الإجراء الأصلى وغالباً ما يكون غير ناجح.

قضايا اختيار وسيلة منع الحمل

تدخل العديد من القضايا فى اختيار وسيلة منع الحمل المناسبة،
بما فى ذلك التفضيل الشخصى، نمط النشاط الجنسى، التاريخ الطبى،
الآراء الدينية، الراحة، التكاليف الأولية والمستمرة، والوقاية من الأمراض.
ومع ذلك، بالنسبة لمعظم الناس، فإن القضيتين الرئيسيتين هما
السلامة والموثوقية.

الجدول 28.6 يعرض معدلات الفشل المتوقعة لعدة أنواع من وسائل منع الح
مل. كل عمود يظهر عدد النساء النشيطات جنسياً اللواتى يحملن عادةً خلال سنة
واحدة أثناء استخدامهن أو استخدام شركائهن لوسائل منع الحمل المشار إليها. أد
نى معدل)الاستخدام المثالى(هو لأولئك الذين يستخدمون الطريقة بشكل صحيح
ومتسق، بينما المعدل الأعلى)الاستخدام النموذجى(يعتمد على مسوح عشوائية
للمستخدمين ويأخذ فى الاعتبار الخطأ البشرى)التقصير والاستخدام غير الصحيح(
.

لم نأخذ فى الاعتبار جميع طرق منع الحمل المتاحة حالياً أو جميع القضايا المه
مة لاختيار وسيلة منع الحمل. لا يمكن التوصية بأى وسيلة منع حمل واحدة كأفض
ل للجميع. يجب طلب مزيد من المعلومات اللازمة للاختيار السليم والاستخدام ال
صحيح لوسائل منع الحمل من إدارة الصحة، خدمة صحة الكلية، الطبيب، منظمة
تنظيم الأسرة، أو مصادر مماثلة.

الجدول 28.6 معدلات فشل وسائل منع الحمل

طريقة	معدل الفشل)الحمل لكل 100 مستخدم(	
	الاستخدام المثالى	الاستخدام النموذجى
بدون حماية	85	85
طريقة الإيقاع	1–9	25
الانسحاب	4	27
المبيد الحيوى للحيوانات المنوية فقط	6–18	29
الواقى الذكرى فقط)ذكرى أو أنثوى(	2	15
الحجاب الحاجز مع مبيد الحيوانات المنوية	6	16
الإسفنجة المهبلية	9	18
حبوب منع الحمل، اللصقة، أو الحلقة المهبلية	0.3	8
ميدروكسى بروجستيرون	0.3	0.3
جهاز داخل الرحم	0.2–0.6	0.2–0.8
قطع القناة المنوية	0.10	0.15
ربط قناتى فالوب	0.5	0.5

الحماية لمدة تصل إلى 24 ساعة، ويجب تركه فى مكانه لمدة لا تقل عن 6
ساعات بعد آخر عملية جماع.
الإسفنجات المانعة للحمل وطرق الحاجز الأخرى تعود إلى العصور القديمة.
استخدم المصريون القدماء واليونانيون إسفنجات مهبلية مبللة بعصير الليمون، ا
لذى كان له تأثير مبيد للحيوانات المنوية خفيف. استخدمت بعض النساء المصر
يات تحاميل مهبلية مصنوعة من روث التمساح والعسل، لكن روث التمساح يص
عب العثور عليه فى الصيدليات هذه الأيام، مما يحد من فائدة هذه الفكرة فى الع
صر الحديث.

الطرق الهرمونية

تستهدف معظم الطرق الهرمونية لمنع الحمل منع الإباضة. فى النساء، تحاكى موا
نع الحمل الهرمونية تأثير التغذية الراجعة السلبية لهرمونات المبيض، مما يثبط إ
فراز FSH وLH فلا تنضج الجريبات. بالنسبة لمعظم النساء، فهى فعالة للغاية. تكم
ن اختلافاتها فى الراحة، وطريقة التطبيق، وإلى حد ما، فى الموثوقية ومخاطر الم
ضاعفات.

أقدم وأشهر طريقة هرمونية هى حبوب منع الحمل المركبة الفموية، أو حبوب م
نع الحمل. تتكون "الحبة" من الإستروجين والبروجستين)هرمون صناعى يشبه ال
بروجستيرون(. يجب تناولها يومياً فى نفس الوقت من اليوم لمدة 21 يومًا فى كل
دورة. تأتى فى عبوات لمدة 28 يومًا، مع تعليم كل يوم على حدة، حيث تكون آخر
7 حبوب منها مجرد سكر عادى للحفاظ على عادة المستخدم فى تناول حبة يوميًا.
يسمح الانسحاب لمدة 7 أيام من الهرمونات بحدوث الحيض. تشمل الآثار الجانبي
ة زيادة خطر الإصابة بالنوبة القلبية أو السكتة الدماغية لدى المدخنات والنساء اللا
تى لديهن تاريخ مرضى من السكرى أو ارتفاع ضغط الدم أو اضطرابات التخثر.

تتجنب الطرق الهرمونية الأخرى الحاجة إلى تذكر تناول حبة يومية، بما فى ذل
ك لاصقات الجلد التى تُطلق الهرمونات والحلقات المهبلية المرنة.
يُعطى الميدروكسى بروجستيرون عن طريق الحقن كل ٣ أشهر، ويوفر وسيلة منع
حمل موثوقة وطويلة الأمد. ومع ذلك، فى بعض النساء، يسبب صداعًا، غثيانًا، أو
زيادة فى الوزن، وقد لا تعود الخصوبة فورًا عند التوقف عن استخدامه.

حبوب منع الحمل الطارئة)ECPs(، أو "حبوب الصباح التالى"، يمكن تناولها ح
تى ٠٢١ ساعة بعد الجماع لمنع الحمل. تتكون من الإستروجين والبروجستين أو م
ن البروجستين فقط، وتعمل على عدة مستويات: تثبيط الإباضة؛ تثبيط حركة الح
يوانات المنوية أو البويضة فى قناة فالوب؛ ومنع الانغراس. لا تعمل إذا كان الجنين
)المرحلة الكيسة الأريمية(قد انغرس بالفعل. تتوفر حبوب منع الحمل الطارئة بدو
ن وصفة طبية فى معظم الأماكن.

الميفيبريستون)RU-486(هو مضاد للبروجستيرون. يُستخدم أقل كوسيلة منع
حمل وأكثر كوسيلة إجهاض؛ بجرعات عالية، يسبب الإجهاض حتى الشهر الثانى م
ن الحمل. ولكن بجرعة ٢ ملغ/يوم، يمنع الإباضة مثل غيره من موانع الحمل الستير
ويدية، ويمكن استخدام جرعة واحدة ٠١ ملغ كوسيلة منع حمل طارئة "حبوب الص
باح التالى" إذا أُخذت بعد الجماع وقبل الإباضة.

حتى الآن، لم تنجح الجهود فى تطوير وسيلة منع حمل هرمونية للرجال. فمن ا
لأصعب بكثير حجب إنتاج ٠٠٤ مليون حيوان منوى يوميًا مقارنة بحجب إباضة وا
حدة فى الشهر.
تثبيط تكوين الحيوانات المنوية يثبط أيضًا إنتاج التستوستيرون، مع تأثيرات سل
بية تفوق فوائد منع الحمل، بما فى ذلك سرطان البروستاتا وضعف الانتصاب الذ
ى قد يكون غير قابل للعكس. أظهرت التجارب السريرية مع مثبطات تكوين الحيوا
نات المنوية معدلات فشل مرتفعة غير مقبولة.
الأجسام المضادة للحيوانات المنوية فعالة، لكنها تحمل خطر حدوث صدمة تحس
سية)تأق(، وتتطلب حقنًا منتظمة من قبل الطبيب، كما أنها مكلفة جدًا لتكون قا
بلة للتسويق. ومع ذلك، لا تزال الأبحاث مستمرة فى سبيل إيجاد وسيلة منع حمل
كيميائية للرجال.

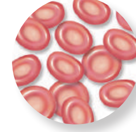
الجهاز داخل الرحم

الأجهزة داخل الرحم)IUDs(هى أجهزة بلاستيكية مرنة تُدخل عبر قناة عنق الرحم إ
لى الرحم. بعضها يفرز بروجستيرون صناعى وبعضها ملفوف بأسلاك نحاسية. تهى
ح أجهزة داخل الرحم

[51] ligat = الربط



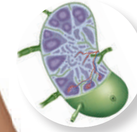
تأثيرات ال **REPRODUCTIVE SYSTEM**
on Other Organ Systems



الجهاز الدورى
الهرمونات الأندروجينية تحفز تكوين كريات الدم الحمراء؛
الهرمونات الإستروجينية تمنع تصلب الشرايين لدى
الإناث؛ الحمل يزيد من حجم الدم
والنتاح القلبى وقد
يسبب دوالى الأوردة.



الجهاز الجلدى
فى سن البلوغ، تحفز الأندروجينات
نمو شعر الجسم والغدد الأبوكرينية
وزيادة إفراز الغدد الدهنية؛
تحفز الإستروجينات ترسيب الدهون
وتطور الثدى؛ تتطلب الحمل
نمو الجلد، خاصة فى مناطق البطن
والثدى، وقد تسبب تغييرات فى التصبغ
وعلامات التمدد.



الجهاز اللمفاوى والمناعى
الحواجز فى الخصية والمبي
ض تحمى الخلايا الجرثومية من ا
لأجسام المضادة؛ الأندروجينات تثبط ا
لمناعة إلى حد ما \وتزيد من القا
بلية للأمراض العدوى.



الجهاز الهيكلى
تحفز الأندروجينات والإستروجينات
ترسيب العظام
ونمو الهيكل العظمى فى مرحلة المراهقة
وتحافظ على كتلة العظام لدى البالغين.



الجهاز التنفسى
التحفيز الجنسى يزيد من ال
تهوية الرئوية؛ الحمل يزيد
من حساسية مستقبلات ال
كيمياء التنفسية لثانى أك
سيد الكربون ويزيد من
حجم التنفس وحجم التهوية الد
قيقة.



الجهاز العضلى
تحفز الأندروجينات نمو
العضلات؛ الذروة الجنسية
والولادة تشمل انقباضا
ت عضلات هيكلية محددة
.



الجهاز البولى
التحفيز الجنسى يضيّق المصرة البولية
الداخلية لدى الذكر، مما يمنع ارتجاع السائل الم
نوى إلى المثانة البولية الذكرية؛ تضخم ال
بروستاتا يمكن أن يعيق تدفق البول؛ ا
لحمل يضغط على المثانة، ويقلل من سع
تها، وقد يسبب سلس البول؛ الحمل يعزز إ
عادة امتصاص الملح والماء من قبل الكل
ى ويزيد من معدل الترشيح الكبيبى وإنتاج ا
لبول.



الجهاز العصبى
تحفز الستيرويدات الجنسية
الدماغ والرغبة الجنسية؛
تمارس هرمونات الغدد التناسلية
والمشيمة تحكمًا سلبيًا على
الوطاء.



الجهاز الهضمى
الجنين النامى يضغط
على المعدة والأمعاء
وقد يسبب حرقة المعدة؛
غالبًا ما يرتبط الحمل
بالإمساك والغثيان.



الجهاز الصماء
تفرز الغدد التناسلية والمشيم
ة الأندروجينات، الإستروجينات، ال
بروجستيرون، وهرمونات الحمل.

دليل الدراسة

قيّم نتائج تعلمك

لاختبار معرفتك، ناقش المواضيع التالية مع شريك دراسة أو كتابةً، ويفضل من الذاكرة.

28.1 تشريح الجهاز التناسلى الأنثوى

1. لماذا يتطور القناة البراميسونيفرية الأنثوية إلى جهاز تناسلى بينما لا تتطور القناة البراميسونيفرية الذكرية؛ وما هى الهياكل الأنثوية الناضجة التى تنشأ من هذه القناة
2. ما هى الهياكل الأنثوية الناضجة التى تنشأ من النتوء الجنسى الجنينى، والثنيات البولية التناسلية، والثنيات الشفرية الصفنية
3. التركيب الداخلى للمبيض؛ الأربطة الداعمة له؛ وإمداداته الدموية والعصبية
4. التركيب العام لبصيلات المبيض؛ وظيفتها وكيف تقارن وتختلف مع الأنابيب المنوية الذكرية؛ وموقعها فى المبيض
5. التشريح العام لأنبوب الرحم (قناة فالوب)؛ أجزاؤه الثلاثة؛ الرباط الداعم له؛ وتركيب مخاطيته وعلاقته بوظيفته
6. التشريح العام للرحم؛ الأربطة الداعمة له؛ علاقته بالجيب المثانى الرحمى والجيب المستقيمى الرحمى؛ إمداداته الدموية؛ ووظيفة الغدد العنقية
7. طبقات الأنسجة لجدار الرحم؛ علم الأنسجة لبطانة الرحم؛ وطائف الطبقات الفرعية لبطانة الرحم
8. ميلان المهبل وعلاقته بالأعضاء المجاورة؛ علم الأنسجة لغشاء مخاطيته فى الطفولة والبلوغ؛ أهمية خلاياه التغصنية؛ مصادر ترطيبه؛ وتشريح غشاء البكارة
9. تشريح الفرج بما فى ذلك العانة، الشفرين الكبيرين والصغيرين، البظر والغطاء، فتحات المهبل والإحليل، الغدد الملحقة، والأنسجة الانتصابية
10. تشريح الثدى الناضج فى حالتى الراحة والرضاعة
11. انتشار سرطان الثدى؛ علاماته التشخيصية؛ العوامل الوراثية وغيرها من عوامل الخطر لسرطان الثدى؛ الرعاية الوقائية للثدى؛ وخيارات العلاج

28.2 البلوغ وسن اليأس

1. العمر النموذجى لبدء البلوغ عند الإناث فى الولايات المتحدة وأوروبا
2. المحفز الهرمونى لبدء البلوغ عند الإناث؛ أدوار هرمون مطلق الغونادوتروبين (GnRH)، الهرمون المنشط للحوصلة (FSH)، الهرمون اللوتينى (LH)، الإنيبين، الأندروجينات، والإستروجينات؛ وأنواع الإستروجين الثلاثة
3. الثيلاركى، البوباركى، والمنيركى كعلامات على البلوغ عند الإناث؛ أسبابها الهرمونية؛ والأساس الهرمونى للرغبة الجنسية
4. العمر النموذجى للمنيركى وعلاقته ببدء الإباضة
5. التأثيرات الجسدية للإستراديول، البروجستيرون، والإنيبين فى بلوغ الإناث
6. التغيرات المبيضية والهرمونية التى تؤدى إلى انقطاع الطمث عند النساء؛ التأثيرات التى تعانى منها النساء فى فترة ما قبل انقطاع الطمث؛ والفروق بين انقطاع الطمث عند النساء والرجال
7. المعيار لتحديد أن المرأة قد تجاوزت مرحلة انقطاع الطمث، والسبب فى عدم القدرة على تحديد الوقت الدقيق لانقطاع الطمث

28.3 تكوين البويضات والدورة الجنسية

1. معانى والتمييزات بين الدورة الجنسية الأنثوية، دورة المبيض، والدورة الشهرية
2. معنى تكوين البويضات والطرق التى يختلف بها عن تكوين الحيوانات المنوية
3. التطور قبل الولادة للأوجونيا والبويضات الأولية؛ العدد الأقصى للأوجونيا الذى يتم الوصول إليه عادة فى الجنين؛ سبب انخفاض هذا العدد كثيرًا عند الولادة ومرة أخرى عند بداية البلوغ؛ واسم التحلل قبل الولادة وفى مرحلة الطفولة لخلايا الجرثومية الأنثوية
4. الطرق التى يختلف بها الانقسام الاختزالى فى الأنثى عن الذكر؛ لماذا ينتج التكوين الجنسى الذكرى أربع أمشاج وظيفية لكل خلية جذعية بينما ينتج التكوين الجنسى الأنثوى واحدة فقط؛ ماذا يحدث للخلايا الابنة الثلاث الأخرى فى الأنثى
5. مدى تقدم الانقسام الاختزالى عند وقت الإباضة، وما يجب أن يحدث بعد ذلك لإكمال الانقسام الاختزالى
6. تطور الجريب من النوع الأولى إلى الناضج (حريف)؛ الفروق الهيكلية بين المراحل؛ وكيف يرتبط تكون الجريبات بتكوين البويضات
7. التفاصيل الهيكلية للجريب الناضج
8. جدول زمن تكوين البويضات وتكوين الجريبات؛ لماذا يُعتبر الدورة المبيضية فى المتوسط ٢٨ يومًا بينما تستغرق البويضة والجريب وقتًا أطول بكثير للنضوج؛ وما الحدث الذى يحدد اليوم الأول من الدورة
9. كم عدد الجريبات التى تبدأ فى التطور فى كل دورة من دورات تكون الجريبات؛ كم عددها التى تُبَويض عادةً؛ ماذا يحدث للباقى، وما هو اسم المصير الذى يلقاه
10. أدوار الهرمون المنشط للحوصلة (FSH) والهرمون اللوتينى (LH) فى تنظيم دورة المبيض
11. عملية الإباضة، اليوم الذى تحدث فيه فى دورة نموذجية، وكيف تدخل البويضة إلى قناة الرحم
12. إنتاج وتركيب ووظيفة وانحلال الجسم الأصفر فى النهاية؛ لماذا تُسمى الأيام من 15 إلى 28 فى دورة نموذجية بالمرحلة الأصفرية؛ ما الذى يبقى بعد انحلال الجسم الأصفر بالكامل
13. أربع مراحل من دورة الحيض؛ ماذا يحدث نسيجيًا لبطانة الرحم فى كل مرحلة؛ ما هى أيام الدورة التى تغطيها كل مرحلة؛ وما هى الهرمونات التى تنظم هذه التغيرات

28.4 الاستجابة الجنسية الأنثوية

1. الطرق التى تختلف بها الاستجابة الجنسية الأنثوية عن الذكرية فى مرحلة الإثارة؛ احتقان الأوعية الدموية فى الشفرين والبظر والثديين؛ مصادر ترطيب المهبل والفرج؛ التغيرات التشريحية فى المهبل والرحم أثناء الإثارة الجنسية
2. الاستجابات الفسيولوجية للنشوة الجنسية والانفراج عند الأنثى وكيف تختلف عن الذكر؛ غياب فترة الامتناع والإمكانية لتحقيق نشوات متعددة

28.5 الحمل والولادة

1. جدول فترة الحمل وكيفية التنبؤ بتاريخ الولادة
2. ما الذى يشمله الجنين
3. موجهة الغدد التناسلية المشيمائية البشرية (HCG)، مصدرها وتأثيراتها، ومسار ارتفاع وانخفاض إفرازها خلال الحمل، وفائدتها فى اختبارات الحمل
4. مصادر وتأثيرات الإستروجين، والبروجسترون، وموجهة الغدد التناسلية المشيمائية البشرية خلال الحمل
5. تأثيرات هرمون الغدة الدرقية، وهرمون الغدة الجار درقية، والجلوكوكورتيكويدات، والألدوستيرون، والريلاكسين خلال الحمل
6. أسباب غثيان الصباح، والإمساك، وحرقة المعدة خلال الحمل؛ التغير فى معدل الأيض الأساسى والاحتياجات الغذائية المرتبطة بالحمل
7. تأثيرات الحمل على حجم الدم والنتاج القلبى؛ كيف يمكن للحمل أن يسبب وذمة، وبواسير، ودوالى الأوردة
8. تأثيرات الحمل على وظيفة الجهاز التنفسى؛ آلية تعزيز انتشار ثانى أكسيد الكربون من دم الجنين إلى دم الأم فى المشيمة

دراسة دليل

3. لماذا يحفز البرولاكتين تخليق الحليب بعد الولادة وليس أثناء الحمل
4. الانعكاس العصبي الصماوي الذي يحفزه رضاعة الرضيع، وأدوار الأوكسيتوسين والبرولاكتين في الرضاعة الطبيعية
5. تركيب حليب الثدي مقارنة بالعقي ولبن البقر؛ أسباب كون لبن البقر أقل صحة للرضيع من حليب الثدي
6. كيف يختلف تركيب حليب الثدي من وقت لآخر؛ أي مكونات الحليب تُفرز مبكرًا، وأيها تُفرز قرب نهاية جلسة الرضاعة الواحدة
7. الكمية اليومية من حليب الثدي التي تُنتج عادة (في النهاية) ومتطلبات التغذية التي تفرضها على الأم

14. الأحداث التي تميز كل مرحلة من مراحل المخاض، وأسماء هذه المراحل
15. فترة النفاس، مدتها الزمنية، والتغيرات التي تطرأ على جسم المرأة بعد الولادة خلال هذه الفترة

28.6 الرضاعة

1. تأثيرات الإستروجين، هرمون النمو، الإنسولين، الجلوكوكورتيكويدات، والبرولاكتين على تطور الغدد الثديية أثناء الحمل
2. السائل الذي تفرزه الغدد الثديية في الأيام القليلة الأولى بعد الولادة، كيف يختلف عن حليب الثدي، وفوائده للوليد

9. تأثيرات الحمل على الترشيح الكبيبي، وإنتاج البول، وسعة المثانة
10. تأثيرات الحمل على الجلد؛ أسباب التمددات الجلدية (علامات التمدد)، الخط الأسود (الخط النيجرا)، والكلف
11. وضع القمة (الرأس) والعمر التطوري الذي تتخذه الجنين عادةً
12. طبيعة وأسباب محتملة لانقباضات براكستون هيكس، متى تحدث، وكيف تختلف عن انقباضات المخاض الحقيقية
13. العوامل التي تحفز بداية انقباضات المخاض؛ أدوار الأوكسيتوسين، التغذية الراجعة الإيجابية، وعضلات البطن الإرادية أثناء المخاض

اختبار استذكارك

الإجابات في الملحق أ

1. من بين الأعضاء التالية، العضو أو الأعضاء الأكثر تشابهًا مع القضيب في التركيب هو/هي
   أ. البظر.
   ب. المهبل.
   ح. البصيلات الدهليزية.
   د. الشفرين الصغيرين.
   هـ. القلفة.
2. تفرز المبايض كل ما يلي *باستثناء*
   أ. الإستروجينات.
   ب. البروجستيرون.
   ح. الأندروجينات.
   د. هرمون تحفيز الجريبات.
   هـ. إنهيبين.
3. المرحلة الأولى أحادية المجموعة الصبغية في تكوين البويضات هي
   أ. البيضة الأولية (الأووجونيوم).
   ب. البيضة الأولية.
   ح. البيضة الثانوية.
   د. الجسم القطبي الثاني.
   هـ. الزيجوت.
4. البويضة الثانوية محمية من الهجوم المناعي بواسطة
   أ. المنطقة الشفافة (زونا بيليوسيدا).
   ب. الغلاف الجرابي (ثيكا فوليكولي).
   ح. الكتلة الخلوية المحيطة بالبويضة (كومولوس أووفوروس).
   د. السائل الجرابي.
   هـ. إنهيبين.
5. الهرمون الذي يؤثر بشكل مباشر على مرحلة الإفراز في دورة الحيض هو
   أ. HCG.
   ب. هرمون FSH.
   ح. هرمون LH.
   د. الإستروجين.
   هـ. البروجستيرون.
6. المرحلة الإقفارية للرحم تنتج عن
   أ. ارتفاع مستويات البروجسترون.
   ب. انخفاض مستويات البروجسترون.
   ح. التحفيز بواسطة الأوكسيتوسين.
   د. التحفيز بواسطة البروستاجلاندينات.
   هـ. التحفيز بواسطة الإستروجينات.
7. قبل إفراز الحليب، تقوم الغدد الثديية بإفراز
   أ. البرولاكتين.
   ب. اللبأ.
   ح. النفاس.
   د. العقي.
   هـ. الكلف.
8. من غير المرجح أن تصبح المرأة حاملاً أثناء الرضاعة مقارنة بأوقات أخرى لأن _____ يمنع إفراز هرمون GnRH.
   أ. FSH
   ب. البرولاكتين
   ح. البروستاجلاندين
   د. الأوكسيتوسين
   هـ. HCG
9. خلايا العضلات الملساء في الطبقة العضلية للرحم وخلايا العضلات الميوإبثيلية في الغدد الثديية هي الخلايا المستهدفة لـ
   أ. البروستاجلاندينات.
   ب. هرمون LH.
   ح. الأوكسيتوسين.
   د. البروجستيرون.
   هـ. هرمون FSH.
10. أي مما يلي *ليس* صحيحًا عن الطور الأصفر في دورة الجنس؟
    أ. مستوى البروجسترون مرتفع.
    ب. يخزن بطانة الرحم الجليكوجين.
    ح. تحدث الإباضة.
    د. قد يحدث الإخصاب.
    هـ. تتضخم غدد بطانة الرحم.
11. تتطور كل خلية بويضة في فراغ مملوء بالسائل خاص بها يسمى _____.
12. الغشاء المخاطي للرحم يسمى _____
13. أول دورة شهرية للفتاة تسمى _____
14. _____ هيكل أصفر اللون يسمى يُفرز البروجسترون خلال المرحلة الإفرازية من دورة الحيض.
15. طبقة الخلايا الأقرب إلى بويضة ثانوية ناضجة هي _____.
16. تختلف الجريب الثالثي عن الجريب الأولي بوجود تجويف يسمى _____.
17. تحدث انقطاع الطمث خلال فترة منتصف العمر من تغير إفراز الهرمونات تسمى _____
18. جميع منتجات الإخصاب، بما في ذلك الجنين أو الجنين النامي، والمشيمة، والأغشية الجنينية، تُسمى مجتمعة _____.
19. النهاية البعيدة على شكل قمع لأنبوب الرحم تسمى _____ ولها عمليات ريشية تسمى _____.
20. ينتج عن انكماش الرحم بعد الولادة إفراز مهبلي يسمى _____.

دليل الدراسة

بناء مفرداتك الطبية

الإجابات فى الملحق أ

اذكر معنى كل عنصر من عناصر الكلمة، وقدم مصطلحًا طبيًا من هذا الفصل يستخدمه أو تغييرًا طفيفًا له.

1. -أركى
2. -أروم
3. -كومولو
4. -جيستو
5. -هيستيرو
6. -لاكتو
7. -ليغات
8. -ميترى
9. -أو
10. -بريمى

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

الإجابات فى الملحق أ

اشرح بإيجاز لماذا كل من العبارات التالية غير صحيحة، أو أعد صياغتها لتصبح صحيحة.

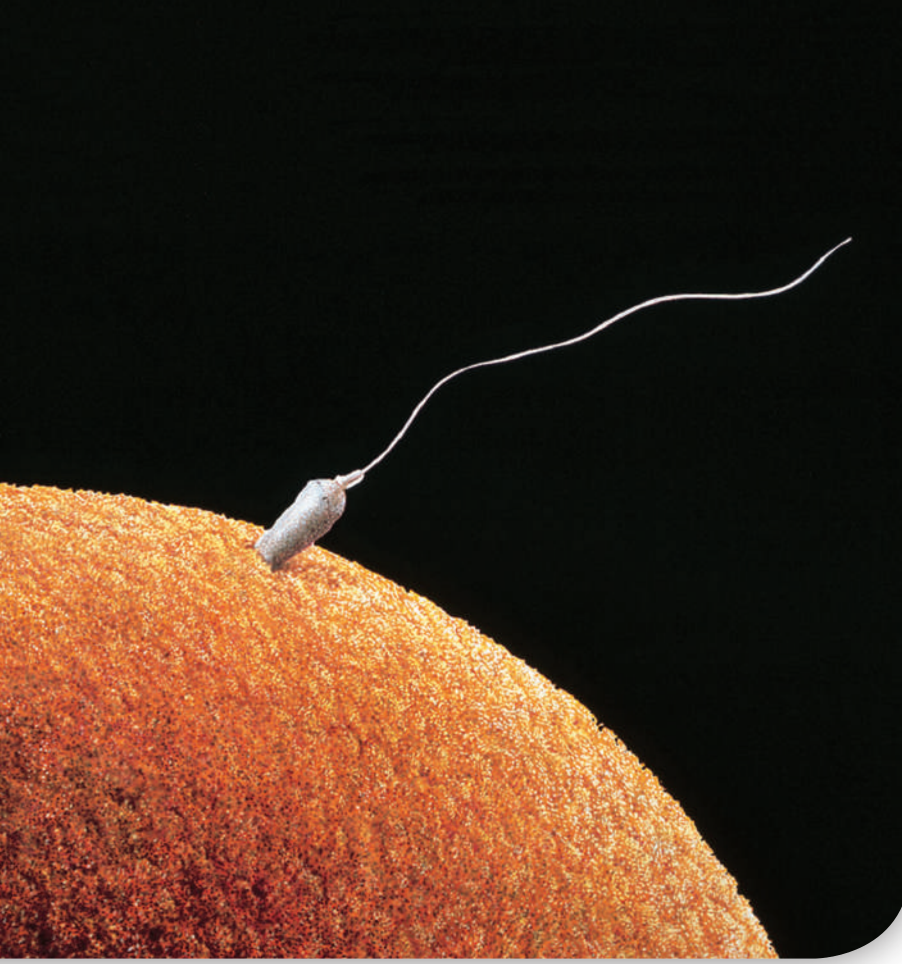
1. بعد الإباضة، يبدأ الجريب فى التحرك أسفل قناة الرحم نحو الرحم.
2. يتم إفراز موجهة الغدد التناسلية المشيمائية البشرية من قبل خلايا الحبيبات فى الجريب.
3. تُطلق الجريب البويضة مباشرة بعد أن تُكمل البويضة الانقسام الاختزالى الثانى.
4. من المحتمل أن تبدأ الفتاة النحيفة أن النش يطة فى الرقص والجمباز فى الحيص فى سن أصغر من فتاة بدينة وغير نشطة.
5. هناك المزيد من خلايا البويضات المستقبلية فى المبى ض عند البلوغ مقارنة بعددها عند الولادة.
6. النساء لا يرضعن أثناء الحمل لأن هرمو ن البرولاكتين لا يُفرز إلا بعد الولادة.
7. يحتوى اللبأ على دهون أكثر من الحليب النا ضج، مما يضمن للوليد كمية كافية استهلاك السعرات الحرارية فى شهره الأول من الانفصال عن تغذية المشيمة.
8. يستغرق الأمر فى المتوسط 28 يومًا لنضو ح الجريب البدائى المنشط وحدوث الإبا ضة.
9. البروجستيرون يعزز تقلصات الرحم أثناء الولاد ة.
10. يتم تساقط كامل بطانة الرحم فى كل دورة شهرية.

اختبار فهمك

1. هل تتوقع أن يخلق البلوغ حالة من التوازن الإ يجابى أم السلبى للنيتروجين؟ اشرح. (انظر "توازن النيتروجين" فى القسم 26.1h للخلفية).
2. يمكن للأسبرين والإيبوبروفين أن يثبطا بداية ا لمخاص ويُستخدمان أحيانًا لمنع الولادة الم بكرة. راجع معرفتك بهذه الأدوية وآلية المخا ض، وفسر هذا التأثير.
3. فى الشهر السادس بعد الولادة، تتعرض أم ترضع حادث سيارة يكسر جمجمتها ويقطع ا لأوعية البابية للغدة النخامية. كيف تتوقع أ ن يؤثر ذلك على إنتاج الحليب لديها؟ وكيف تتوقع أن يؤثر على دورات المبيض المستقبل ية لديها؟ اشرح الفرق.
4. إذا أُزيلت المبايض فى الأسابيع الستة ا لأولى من الحمل، سيتم إجهاض الجنين. إذا أُزيلت المبايض فى وقت لاحق من الحم ل، يمكن أن يستمر الحمل حتى term كام ل طبيعى. اشرح الفرق.
5. تترك امرأة ترضع طفلها فى المنزل وتذهب للتسوق. هناك، تسمع بكاء طفل امرأة أخرى وتلاحظ أن بلورتها أصبحت مبللة بقليل م ن الحليب الخارج. اشرح الرابط الفسيولوجى بي ن سماع هذا الصوت وطرد الحليب.

CHAPTER 29

الإنسان النمو والشيخوخة



Boy meets girl: the union of sperm and egg (SEM)

فرانسيس ليروى، بايوكوزموس/ساينس سورس

مخطط الفصل

رؤى أعمق

Anatomy & Physiology Revealed 4.0

Module 14: Reproductive System

شرح كيف تمنع البويضة الإخصاب بأكثر من حيوان منوى واح ب.
د؛

وصف الأحداث الرئيسية التى تحول البويضة المخصبة إلى جنين ح.
؛ و

وصف غرس الجنين المبكر فى جدار الرحم. د.

تُعطى السلطات معانٍ مختلفة لكلمة جنين. يستخدمها البعض للدلا لة على المراحل التى تبدأ من البويضة المخصبة أو على الأقل من مرح لة الخليتين الناتجة عن أول انقسام لها. بينما يطبقها آخرون لأول مرة على فرد عمره 16 يومًا، عندما يتكون من ثلاث طبقات جرثومية أولية تُسمى الأديم الظاهر، الأديم المتوسط، و الأديم الباطن. تُسمى الأحد اث التى تؤدى إلى تلك المرحلة التكوّن الجنينى، لذا تُسمى أول 16 ي ومًا بعد الإخصاب مرحلة ما قبل الجنين. هذا هو المعنى الذى سنس تخدم فيه هذه المصطلحات فى هذا الكتاب. نبدأ بالعملية التى يحدد فيها الحيوان المنوى موقع البويضة ويخصبها.

29.1أ هجرة الأمشاج وتأهيل الحيوانات المنوية

لقد رأينا فى الفصلين الماضيين كيف تُنتج الحيوانات المنوية والبوى ضات. الضرورة التالية هى جمعهما معًا.

تُطلق البويضة فى تجويف الحوض وتلتقطها الأهداب فى قناة الر حم. تضرب الأهداب فى القناة فى اتجاه الرحم وتحمل البويضة إلى مو عدها مع الحيوانات المنوية المنتظرة بالقرب من الرحم (الشكل 29.1). يحفز البروجسترون من المبيضين ضرب الأهداب ويعزز نقل البوى ضة.

يساعد النقل أيضًا الانقباضات التمعجية لجدار العضلات فى القناة. ا لبويضة نفسها غير متحركة، ولا تلعب دورًا نشطًا فى نقلها.

بالنسبة للحيوانات المنوية، الرحلة أكثر شاقة، وللغالبية العظمى م نها غير ناجحة. يطلق القذف المتوسط حوالى 200 مليون حيوان منو ى فى المهبل، لكن فقط من 20 إلى 200 منها تصل إلى مكان قريب من البويضة. الرجل الذى يقذف أقل من 20 مليون حيوان منوى لكل مليلتر من السائل المنوى عادة ما يكون عقيمًا لأنه لا يوجد عدد كافٍ لتجاوز هذه الاحتمالات السيئة. ما هى العقبات؟ ولماذا هذه الخسائر ا لهائلة؟

التحدى الأول الذى تواجهه الحيوانات المنوية هو المرور عبر قناة عنق الرحم إلى الرحم. القناة عبارة عن مسار عقبات من طيات ضيقة وألياف مخاطية لزجة. ومع ذلك، قرب وقت الإباضة، ينظم المخاط إل ى كريات صغيرة بها فجوات تسهل هجرة الحيوانات المنوية. بعض ال خيوط تصطف مع قناة عنق الرحم وتوجه الحيوانات المنوية إلى الرحم . أقل من مليون حيوان منوى يمرون ويدخلون الرحم — بينما 99.5% منهم يعودون إلى المهبل، أو يُقتلون بحموضة المهبل، أو يفشلون فى التنقل عبر قناة عنق الرحم. أما الذين ينجحون فى المرور فيواجهون ه جومًا ضخمًا من الكريات البيضاء فى الرحم التى تتعرف عليهم كأجسا م غريبة وتحاول إيقاف الغزو.

رغم كل هذه الاحتمالات، تزحف الحيوانات المنوية على مخاطية ا لرحم بحركات ذيلية تشبه حركة الأفعى. ومن المدهش، أن الحيوانات ا لمنوية الميتة تصل إلى قناتى الرحم بنفس سرعة الحية.

سواء كانت حية أو ميتة، تُحمل الحيوانات المنوية صعودًا على الجدار بواسطة ضربات الأهداب على

مراجعة

- يتطلب فهم عملية الإخصاب الإلمام ببنية الحيوان المنوى)انظر القسم 27.4ح(.
- يعتمد فهم الإخصاب والأحداث التى تليها مباشرة أيضًا على معرفة تكو ن البويضة)انظر القسم 28.3أ(وبنية الجريب المبيضى الناضج)انظر ال شكل 28.12ب(.
- يتطلب فهم انغراس الجنين فى الرحم وتطور المشيمة معرفة نسيج بطانة الرحم)انظر "جدار الرحم" فى القسم 28.1ب، والشكل 28.1 7).

ربما يكون الجانب الأكثر إثارة وعجيبة فى الحياة البشرية هو تحول بوي ضة مخصبة مكونة من خلية واحدة إلى فرد مستقل ومتطور بالكامل. منذ بداية الفكر المسجل، تأمل الفلاسفة وعلماء الطبيعة كيف يتكون الط فل فى جسم الأم وكيف يمكن لوالدين أن ينتجا إنسانًا آخر، رغم تفرده، يحم ل خصائص كل منهما. أرسطو، فى سعيه لفهم التطور قبل الولادة، قام بت شريح أجنة الطيور وحدد تسلسل ظهور وتشكّل أعضائها. كما تكهن بأن ال صفات الوراثية للطفل تنتج من اختلاط منوى الذكر مع دم الحيض الأنثوى. استمرت مثل هذه المفاهيم الخاطئة حول التطور البشرى لعدة قرون. فى القرن السابع عشر، كان العلماء يعتقدون أن ملامح الرضيع موجودة فى حا لة مُشكّلة مسبقًا فى البويضة أو الحيوان المنوى وتتكشف وتتوسع ببساط ة مع تطور الجنين. ظن البعض أن رأس الحيوان المنوى يحتوى على إنسان صغير ملتف بداخله، بينما اعتقد آخرون أن الإنسان الصغير موجود فى ال بويضة وأن الحيوانات المنوية هى طفيليات فى السائل المنوى.

لم تولد العلوم الحديثة لعلم الأجنة—دراسة التطور قبل الولادة—حتى ا لقرن التاسع عشر، ويرجع ذلك إلى حد كبير إلى أن نظرية التطور وفرت أخيرًا للبيولوجيين إطارًا منهجيًا لطرح الأسئلة الصحيحة واكتشاف المواضيع الم وحدة فى تطور أنواع الحيوانات المختلفة، بما فى ذلك البشر. وكان فى تلك الحقبة أيضًا أول ملاحظة للبويضة البشرية.

أصبح علم الأجنة الآن جزءًا من علم الأحياء التطورى، وهو علم أوسع يشمل التغيرات فى الشكل والوظيفة من البويضة المخصبة وحتى الشيخوخة. و من المجالات التى تتوسع بسرعة فى علم الأحياء التطورى اليوم هو التنظيم الجينى للتطور.

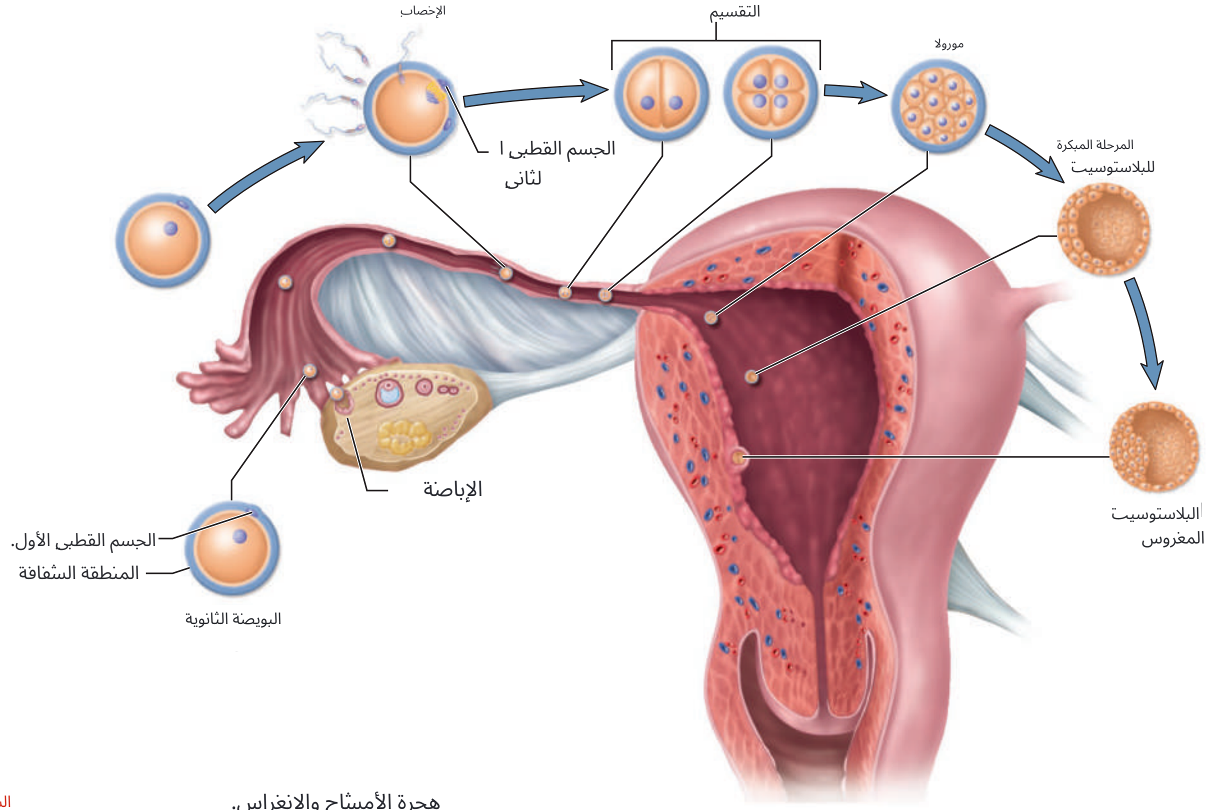
فى الفصل الختامى لهذا الكتاب، من المناسب أن نتأمل أيضًا فى ال فصل الختامى للحياة. لماذا تتآكل أجسامنا؟ أليس هناك ما يمكننا فعله ح يال ذلك؟ هل هناك "علاج للشيخوخة" فى الأفق؟ يشمل نطاق مناقشتنا هنا العمر البشرى من الحمل حتى الوفاة.

29.1 الإخصاب ومرحلة ما قبل الجنين

نتائج التعلم المتوقعة

عند إكمال هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

وصف عمليات هجرة الحيوانات المنوية و أ.
الإخصاب؛



هجرة الأمشاج والانغراس. الشكل 29.1

للكيميائيات الجاذبة التى ستجذب الحيوانات المنوية قريبًا نحو البويضة.

تبقى الحيوانات المنوية صالحة لمدة تصل إلى 6 أيام بعد القذف،
لذلك هناك فرصة ضئيلة للحمل من الجماع الذى يحدث قبل أكثر من
أسبوع من الإباضة. كما أن الإخصاب غير محتمل إذا حدث الجماع
بعد أكثر من 14 ساعة من الإباضة، لأن البويضة لن تكون صالحة بحلول
الوقت الذى تصبح فيه الحيوانات المنوية مؤهلة. بالنسبة للراغبين
فى الحمل، فإن نافذة الفرصة المثلى هى من بضعة أيام قبل الإباضة.

بطانة الرحم وانقباضات عضلة الرحم. يثير الجماع إفراز الأوكسيتوسين
)OT(من الغدد النخامية لدى كلا الجنسين، وفى الأنثى، يعزز الأوكسيتوسين هذه الانقباضات.
قد تنتشر هذه الانقباضات |
لسائل المنوى فى جميع أنحاء الرحم مثل لوش اليد المصغوط بين راح
تى اليدين. إذا وصلت الأنثى إلى النشوة الجنسية، تصبح الانقباضات
أقوى، وينغمس عنق الرحم فى المهبل وقد يمتص السائل المنوى. لذل
ك قد تكون فرصة الحمل أكبر إذا وصلت الأنثى إلى النشوة مقارنة
بعدم وصولها.

وحتى 14 ساعة بعدها. معظم حالات الحمل تحدث من الجماع خلال الأيام القليلة التى تسبق الإباضة، لذلك بحلول الوقت الذى
تُطلق فيه بويضة فالوب، وحتى إذا كان هناك بويضة متاحة فى إحداهما، فإن نصف عدد الحيوانات المنوية يكون قد وصل بالفعل إ
لى البرزخ فى القناة. أما من يرغبون فى تجنب الحمل، فيجب أن يتركوا هامش أمان واسع لتقلبات عمر الحيوانات المنوية والبوي
ضة، ووقت التأهيل، وشكل 28.3، حيث ترتبط الحيوانات المنوية مؤقتًا بالغشاء المخاطى. يبدو أن هذا يطيل من عمرها ويعمل كمخ
زن يتم منه إطلاقها، عدد قليل فى كل مرة، لاستئناف هجرتها لاحقًا. البرزخ هو الجزء الضيق من القناة)انظر الشكل(.

29.1ب الإخصاب

يحدث الإخصاب عند التقاطع بين البرزخ والأمبولة
فى قناة الرحم)الشكل 29.1(. على مسافة قريبة، تجد الحيوانات المنوية
البويضة عن طريق الكيمياء الجذبية)الكيموتاكيس(. تذكر أن البويضة المتنقلة
ليست البويضة عارية، بل تحيط بها مجموعة من الرفاق المسافرين،
وهى العديد من الخلايا الصغيرة لجسم الكومولوس أوفوروس التى تحيط بها.
تفرز هذه الخلايا هرمون البروجسترون، وهو أحد عوامل جذب الحيوانات المنوية؛
ويبدو أن هناك عوامل جذب أخرى أقل فهماً تشارك أيضاً.

يمكن للحيوانات المنوية الوصول إلى البرزخ فى نصف ساعة أو أ
قل، لكن الحيوانات المنوية التى تم قذفها حديثًا لا تستطيع بعد تخصي
ب البويضة. غشاء البلازما لرأس الحيوان المنوى مقوّى بالكوليسترول
والبروتين، مما يمنع الإفراز المبكر لإنزيمات الأكرسوم أثناء وجود الحيوانا
ت المنوية فى قنواتها داخل الذكر. هذا يتجنب هدر الحيوانات المنوية و
الأضرار الالتهابية التى تسببها الإنزيمات فى قنوات الذكر. لكى تتمكن
الحيوانات المنوية من تخصيب البويضة، يجب أن تخضع أولاً لعملية
تسمى التأهيل. تساعد سوائل الجهاز التناسلى الأنثوى الحيوانات المنو
ية عن طريق إذابة الكوليسترول والبروتين من غشاء البلازما مما يزعزع ا
ستقراره ويجعله أكثر نفاذية لأيونات الكالسيوم التى تلعب دورًا قريبًا ف
ى الإخصاب. كما ينشط التأهيل مستقبلات على رأس الحيوان المنوى

البويضة هى مورد ثمين للأنثى—لديها مخزون محدود مدى الحياة—لذا يطهر طاهرة أخرى لتجنب فقدانها بسبب الحيوانات المنوية "المتحمسة ب شكل مفرط". إذا اخترقت بويضة واحدة اثنان أو أكثر من الحيوانات المنوية فى نفس الوقت، تكون النتيجة عدد كروموسومات ثلاثى الصيغة الصبغية (3ن) أو أعلى وتموت البويضة بسبب *جرعة زائدة من الجينات*. اختراق عدة ح يوانات منوية يُسمى تعدد الحيوانات المنوية ويجب منعه. لدى البويضة طر يقة واحدة على الأقل، وربما طريقتان، لمنع ذلك. الأولى والأكثر جدلاً من الطر يقتين هى الحاجز السريع لمنع تعدد الحيوانات المنوية.

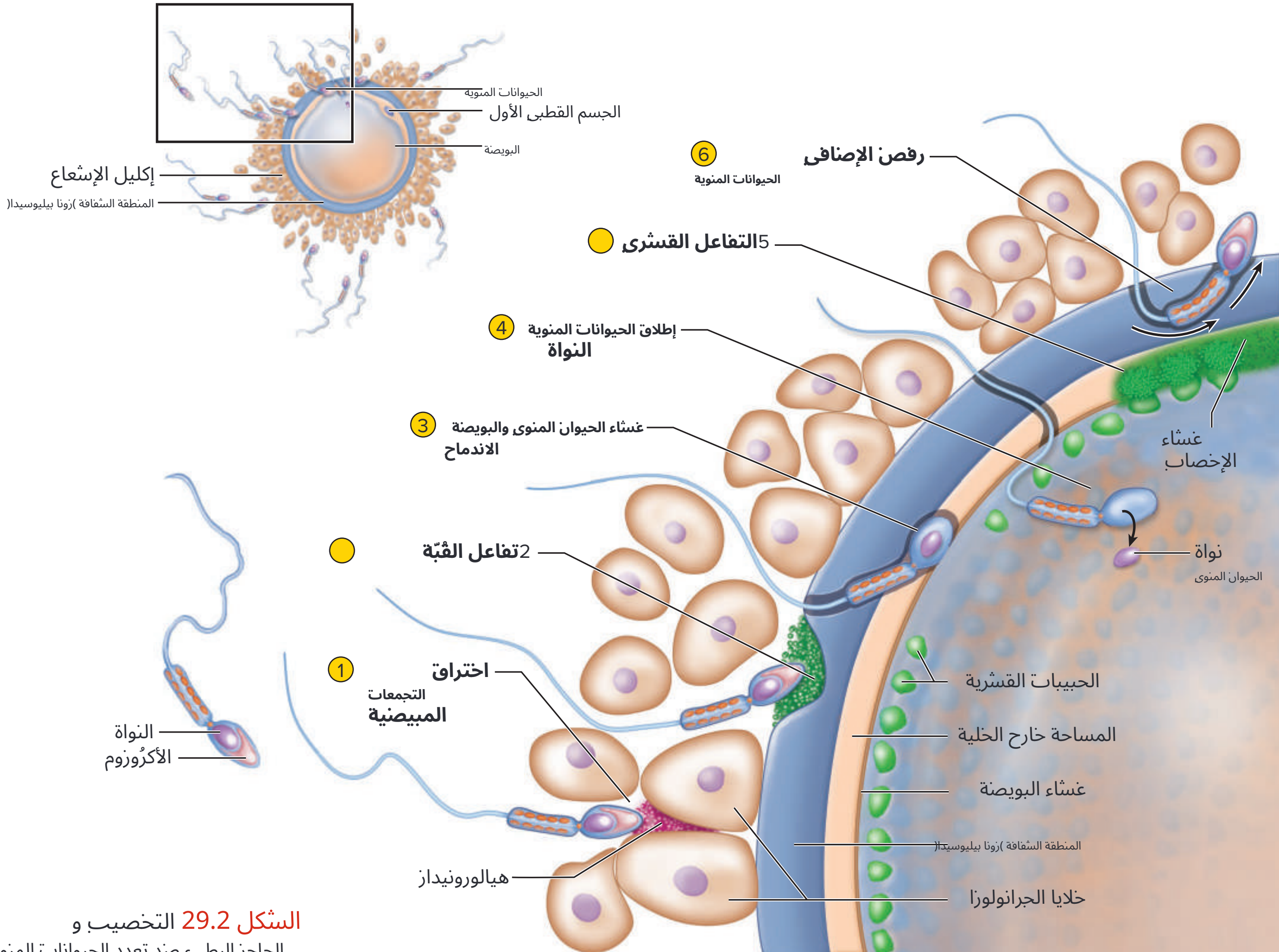
عندما يتم اختراق غشاء البويضة لأول مرة، يؤدى تدفق أيونات Na^+ إ لى إزالة استقطاب الغشاء ويمنع التصاق المزيد من الحيوانات المنو ية. يتبع ذلك بسرعة حاجز بطىء يشمل الحويصلات الإفرازية المسما ة الحبيبات القشرية الموجودة تحت غشاء البويضة مباشرة. يؤدى اختراق الحيوان المنوى إلى إطلاق Ca^{2+} من المخزون فى البويضة ، مما يحفز إفراز هذه الحبيبات. إن إنزيمًا فى إفرازها يدمر ZP3 فى الغلا ف الشفاف (zona pellucida)، مما يجعل من المستحيل ارتباط المز يد من الحيوانات المنوية بالبويضة. كما أن الإفراز يتسبب فى تورم ويد فع أى حيوانات منوية إضافية بعيدًا عن البويضة.

طبق ما تعرفه

ما التشابه الذى يمكنك رؤيته بين الحاجز البطىء ضد تعدد الحيوا نات المنوية وإفراز الأستيل كولين من الحويصلات المشبكية فى العصبون؟ (قارن "النقل المشبكى"، القسم 12.5د.)

السائل بين خلايا التاج غنى أيضًا بالكالسيوم. عندما يتقدم الحيوا ن المنوى داخل التاج، ينتشر Ca^{2+} إليه ويحفز حركة ذيل الحيوان المنو ى بشكل أكثر قوة، مما يدفع الرأس أعمق نحو البويضة نفسها. إنزيم يُفرز من رأس الحيوان المنوى، الهيالورونيداز (''عامل الانتشار'')، يخ فف من التماسك بين خلايا التاج ويسهل مرور الحيوان المنوى.

عندما يصل الرأس إلى الغلاف الشفاف (ZP)، يرتبط بأحد جليكوبروتى ناته، *ZP3*. هذا يحفز تفاعل الأكروزوم—إفراز محتويات الأكروزوم من ا لحيوان المنوى، مما يفرز إنزيمًا على الغلاف الشفاف يهضم مسارًا خ لاله، مما يسمح للحيوان المنوى بالدخول إلى فراغ ضيق بين الغلاف ا لشفاف وغشاء البويضة (الشكل 29.2).
هنا، يستلقى الحيوان المنوى جانبًا على غشاء البويضة، مرتبطًا به بوا سطة جزيئات التصاق خلوية تقع بالقرب من الجزء الخلفى من رأسه، بالقر ب من قاعدة ذيله. تندمج أغشية الحيوان المنوى والبويضة ويغوص نواة ا لحيوان المنوى، والجزء الأوسط، ومعطم الذيل داخل سيتوبلازم البويضة. يحتوى الجزء الأوسط من الحيوان المنوى على حوالى 100 ميتوكوندريا، وهى المحركات التى تولد ATP التى تزود حركة الحيوان المنوى بالطاقة، ومع ذلك لا يتم تمرير أى منها إلى النسل. خلال تكوين الحيوانات المنوية فى الخ صيتين، يتم وسم ميتوكوندريا الحيوان المنوى بواسطة بروتين يسمى **ubiqu itin** الذى يحددها للتدمير لاحقًا بواسطة البويضة. تتعرف البويضة على هذا و تدمر جميع الميتوكوندريا الأبوية، لذلك عادةً ما يتم تمرير DNA الميتوكوندريا الأمومى فقط إلى النسل. تحتوى البويضة على حوالى 100,000 ميتوكوندر يا.



الشكل 29.2 التخصيب و الحاجز البطىء ضد تعدد الحيوانات المنوية.

الجدول 29.1	مراحل التطور قبل الولادة	
المرحلة	العمر منذ وقت الإخصاب	التطورات الرئيسية والخصائص المميزة
المرحلة ما قبل الجنينية		
الزيجوت)اللاقحة(	0–30 ساعة	خلية ثنائية الصيغة الصبغية واحدة تتكون من اتحاد البويضة والحيوان المنوى
الانقسام	30–72 ساعة	انقسام ميتوزى للزيجوت إلى خلايا متشابهة أصغر تسمى بلاستوميرات
المورولا	3–4 أيام	مرحلة كروية تتكون من 16 بلاستومير أو أكثر
المرحلة الكيسة الأريمية	٤–٦١ يومًا	مرحلة كروية مملوءة بالسوائل مع كتلة خارجية من خلايا المشيمة و كتلة داخلية من خلايا الأرومة الجنينية؛ تُزرع فى بطانة الرحم؛ تشكل الكتلة الخلوية الداخلية قرصًا جنينيًا وتتمايز إلى الطبقات الجرثومية الثلاث الأساسية
المرحلة الجنينية	٦١ يومًا–٨ أسابيع	مرحلة تتمايز فيها الطبقات الجرثومية الأساسية إلى أعضاء وأنظمة الأعضاء؛ تنتهى عندما تكون جميع أنظمة الأعضاء موجودة
المرحلة الجنينية المتأخرة)الجنين(	٨–٨٣ أسبوعًا	مرحلة تنمو فيها الأعضاء وتنضج على المستوى الخلوى إلى درجة تمكنها من دعم الحياة بشكل مستقل عن الأم

عند الأسبوع 35 من الإخصاب، يزن الجنين عادة حوالى2.5 كجم)5.5 رطل(. يُعتبر ناضجًا عند هذا الوزن، وعادة ما ينجو إذا وُلد مبكرًا. يولد معظم التوائم حوالىالأسبوع 35 بعد الحمل، وا لأطفال الوحيدون عند الأسبوع 40.

من منظور بيولوجى أكثر منه سريرى، يُقسم التطور البشرى إلى ثلاث مراحل تُسمى المرحلة ما قبل الجنينية، والمرحلة الجنينية، ومر حلة الجنين. الجدول الزمنى والأحداث الرئيسية التى تميز كل منها مو ضحة فى الجدول 29.1 ومُوصوفة فى الأقسام التالية.

29.1د المرحلة ما قبل الجنينية

تشمل المرحلة ما قبل الجنينية أول 16 يومًا من التطور، والتى تنتهى بوجود جنين. هذه فترة ينقسم فيها الزيجوت إلى مئات الخلايا، وتنظم الخلايا نفسها إلى الطبقات الجرثومية الأولية، ويصبح الجنين مثبتًا بقوة فى جدار الرحم. يمكن تلخيصها فى ثلاث كلمات: الانقسام، الانغر اس، وتكوين الجنين.

الانقسام

يشير الانقسام إلى الانقسامات الميتوزية التى تحدث فى الأيام الثلاثة الأولى، بينما يهاجر الجنين من موقع الإخصاب إلى الرحم)الشكل 29. 2(. يحدث الانقسام الأول بعد حوالى 30 ساعة من الإخصاب وينتج أو ل خليتين ابنتين، أو خلايا الانقسام. تنقسم هذه الخلايا فى نفس الوق ت بفواصل زمنية أقصر وأقصر، مضاعفة عدد خلايا الانقسام فى كل مرة. بحلول الوقت الذى يصل فيه الجنين إلى الرحم، بعد حوالى 72 ساعة من الإباضة، يتكون من 16 خلية أو أكثر ويشبه إلى حد ما التوت —ومن هنا يُسمى مورولا. المورولا ليست أكبر من الزيجوت؛ فالانق سام ينتج فقط خلايا انقسام أصغر وأصغر وعددًا أكبر من الخلايا التى ستشكل أنسجة جنينية مختلفة. أحيانًا، تنقسم المورولا إلى كتلتين م ن الخلايا وتنتج توائم متطابقة)انظر التعمق 29.1(.

[1] *blast*= برعم، مقدمة؛ *mer*= جزء، قسم

[2] *mor*= توت؛ *ula* = صغير

تبدأ البويضة)البويضة الثانوية(الانقسام الاختزالى الثانى قبل الإ باضة وتكمله فقط إذا تم تخصيبها. من خلال تكوين الجسم القطبى ال ثانى، تتخلص البويضة المخصبة من كروماتيد واحد من كل كروموسو م. ثم تنتفخ نوى الحيوان المنوى والبويضة وتصبح نوى أولية. ينمو ال سنترسوم الخاص بالحيوان المنوى أنابيب دقيقة ويدفع النواة الأولية للحيوان المنوى نحو مركز البويضة، مما يساعد فى اتحاد النوى الأولية الذكرية والأنثوية. يتكون مغزل انقسامى بين النوى الأولية، ثم ينفجر كل منهما، وتختلط كروموسومات الأمشاجين فى مجموعة ثنائية ال صبغيات واحدة)الشكل 29.2(. البويضة المخصبة، التى تُسمى الآن ا لزيجوت، جاهزة للانقسام الانقسامى الأول.

كما فى الفصل 28، سنستخدم مصطلح *المفهوم* لكل ما ينشأ م ن هذا الزيجوت—ليس فقط الفرد النامى ولكن أيضًا المشيمة، الحبل السرى، والأغشية المرتبطة بالجنين والجنين النامى.

29.1ح المراحل الرئيسية لتطور ما قبل الولادة

سريريًا، يُقسم مسار الحمل إلى فترات زمنية مدتها 3 أشهر تُسمى ف صول الحمل:

1. يمتد الفصل الأول للحمل من الإخصاب وحتىالأسبوع الثانى عشر. هذه هى المرحلة الأكثر خطورة، حيث يموت أكثر من ن صف الأجنة خلالها. يكون الجنين فى هذه الفترة أكثر عرضة للتو تر، والأدوية، ونقص التغذية، لكنه قد يموت أيضًا مبكرًا بسبب عيوب كروموسومية أو عوامل أخرى.

2. الفصل الثانى للحمل)من الأسبوع 13 إلى 24(هو فترة تكتمل فيها معظم تطورات الأعضاء. يصبح من الممكن باستخدام التصوير بالموجات فوق الصوتي ة رؤية تفاصيل تشريحية جيدة فى الجنين. بحلول نهاية هذا ال فصل، يبدو الجنين بشريًا بوضوح، ومع الرعاية المكثفة، يكون لد ى الأطفال المولودين فى نهاية الفصل الثانى فرصة للبقاء ع لى قيد الحياة.

3. فى الفصل الثالث للحمل)من الأسبوع 25 حتى الولادة(، ينمو الجنين بسرعة وتتحقق للأعضاء درجة كافية من التمايز الخلوى لدعم الحياة خا رج الرحم. ومع ذلك، تتطلب بعض الأعضاء، مثل الدماغ والكبد والك ليتين، المزيد من التمايز بعد الولادة لتصبح وظيفية بالكامل.

توجد المورولا حرة فى تجويف الرحم لمدة 4 إلى 5 أيام وتنقسم إلى ح
والى 100 خلية. فى هذه الأثناء، يتحلل الغلاف الشفاف (zona pellucida
) ويطلق الكائن المفهوم، الذى يكون الآن فى مرحلة تسمى الكيسة الأريم
ية (blastocyst) — وهى كرة مجوفة ذات طبقة خارجية من الخلايا الحر
شفية تسمى المشيمة (trophoblast)، وكتلة خلوية داخلية تسمى الأرو
مة الجنينية (embryoblast)، وتجويف داخلى يسمى التجويف الأريمى (
blastocoel) (BLAST-oh-seal) (الشكل 29.4a). المشيمة مخص
صة لتشكيل جزء من المشيمة ولعب دور مهم فى تغذية الجنين، فى حين
أن الأرومة الجنينية مخصصة لتصبح الجنين نفسه.

الزرع

حوالى ٦ أيام بعد الإباصة، يلتصق الكيسة الأريمية ببطانة الرحم، عادةً
على القاع أو الجدار الخلفى للرحم. تبدأ عملية الالتصاق، التى تُسمى ا
لزرع، عندما تلتصق الكيسة الأريمية ببطانة الرحم. تنقسم خلايا المش
يمة على هذا الجانب إلى طبقتين. فى الطبقة السطحية، التى تلامس
بطانة الرحم، تتحلل أغشية البلازما وتندمج خلايا المشيمة لتكوّن كتلة
متعددة النوى تُسمى المشيمة المتزامنة[4] (sin-SISH-ee-oh-TRO-f
o-blast) (المشيمة المتزامنة هى أى جسم من السيتوب
لازم يحتوى على نوى متعددة.) الطبقة العميقة، القريبة من الكيسة ال
جنينية، تُسمى المشيمة الخلوية لأنها تحتفظ بالخلايا الفردية المفصو
لة بالأغشية (الشكل 29.4ب).

تنمو المشيمة المتزامنة داخل الرحم مثل الجذور الصغيرة، مه
ضمة خلايا بطانة الرحم على طول الطريق. تتفاعل بطانة الرحم مع هذا
الضرر بنموها فوق الكيسة الأريمية وتغطيتها فى النهاية، بحيث يص
بح الجنين مدفونًا تمامًا فى نسيج بطانة الرحم (الشكل 29.4ج). تس
تغرق عملية الزرع حوالى أسبوع وتكتمل تقريبًا فى الوقت الذى كان م
ن المفترض أن تحدث فيه الدورة الشهرية التالية إذا لم تكن المرأة حا
ملاً.
دور آخر للمشيمة هو إفراز موجهة الغدد التناسلية المشيمائية ال
بشرية (HCG). تنتشر HCG عبر حاجز المشيمة إلى مجرى دم الأم. من
هناك، تحفز الجسم الأصفر على إفراز الإستروجين والبروجسترون، و
يقوم البروجسترون بكبح الحيض. يرتفع مستوى HCG فى دم الأم ح
تى نهاية الشهر الثانى. خلال هذه الفترة، تتطور المشيمة إلى غشاء يُ
سمى *الغشاء الجنينى (الكوريون)*، الذى يتولى دور الجسم الأصفر ويج
عل HCG غير ضرورية. ثم تصبح المبايض غير نشطة لبقية فترة الحم
ل، لكن مستويات الإستروجين والبروجسترون ترتفع بشكل كبير لأنها
تُفرز بواسطة الكوريون المتنامى باستمرار (انظر الشكل 28.18).

تكوين الجنين

أثناء الزرع، يخضع الكيسة الجنينية لعملية تكوين الجنين — ترتيب ا
لخلايا الانقسامية إلى الطبقات الجرثومية الثلاث الأساسية:
الطبقة الظاهرية، الطبقة الوسطى، والطبقة الباطنية. فى بداية هذه ا
لمرحلة، ينفصل الكيسة الجنينية قليلاً عن المشيمة، مكونًا فراغًا ضي
قًا بينهما يُسمى التجويف الأمنيوسى.
يتسطح الكيسة الجنينية إلى قرص جنينى يتكون فى البداية من طبق
تين: الطبقة الظاهرة المواجهة للتجويف الأمنيوسى و الطبقة الباطنية
المواجهة بعيدًا. تتكاثر بعض خلايا الطبقة الباطنية وتشكل غشاءً يُسم
ى كيس المح الذى يحيط بالتجويف الجنينى. الآن يكون القرص الجن
ينى محاطًا بمساحتين: التجويف الأمنيوسى من جهة وكيس المح من
الجهة الأخرى (الشكل 29.4ج).

[3] troph= طعام، تغذية
[4] syn= معًا؛ cyt = خلية



نظرة أعمق 29.1

التطبيق السريرى

التوائم

هناك طريقتان لإنتاج التوائم (وبالتبعية، الولادات المتعددة الأخرى). حوالى ثلثى ا
لتوائم هم توائم ثنائية الزيجوت (DZ) — تُنتج عندما يتم إباصة بويضتين وتخصي
ب كل منهما بواسطة حيوان منوى منفصل.
هم ليسوا أكثر أو أقل تشابهًا جينيًا من أى أشقاء آخرين وقد يكونون من جنسين م
ختلفين. يمكن أن تؤدى الإباصة المتعددة أيضًا إلى ولادة توائم ثلاثية، رباعية، أو ح
تى أعداد أكبر من النسل. تزرع التوائم الثنائية الزيجوت بشكل منفصل على جدار ا
لرحم ويشكل كل منها مشيمته الخاصة (الشكل 29.3)، على الرغم من أن المشيم
ات قد تندمج إذا تم الزرع بالقرب من بعضها البعض.
التوائم أحادية الزيجوت (MZ) تُنتج عندما يتم تخصيب بويضة واحدة، وحتى 1
4 يومًا لاحقًا، تنقسم كتلة الخلايا إلى اثنتين فى مرحلة المورولا أو الأرومة الجنينية.
 عندما يكون الانقسام مبكرًا فى الحمل، عادةً ما يشكل كل توأم كيسًا أمينوسيًا وم
شيمة خاصة به. إذا حدث الانقسام متأخرًا، فقد يشتركان فى كيس أمينوسى وم
شيمة واحدة. مثل هذه التوائم لديها معدل وفيات مرتفع لأنها قد تتشابك فى ح
بالها السُرية. التوائم أحادية الزيجوت التى تنقسم لاحقًا معرضة أيضًا لخطر التطور
كتوأم ملتصق (ملتصق فى الرأس، الصدر، البطن، أو الحوض). نظرًا لأن التوائم أحا
دية الزيجوت تنشأ من نفس البويضة المخصبة، فهى من نفس الجنس ومتطابقة
تقريبًا فى المظهر. أحيانًا تنتج توائم ثلاثية ورباعية متطابقة من انقسام أرومة جنين
ية واحدة.
على الرغم من أن التوائم أحادية الزيجوت تُسمى عادةً "توائم متطابقة"، إلا أن
لديها اختلافات جينية أكثر مما يُعتقد عادةً. يخضع كل توأم لعدد كبير من الطفرات
 المستقلة خلال الحمل. بحلول وقت الولادة، يكون لدى التوائم أحادية الزيجوت ح
والى 300 اختلاف جينى بسبب الطفرات.
تسبب مثيلة الحمض النووى المستقلة (انظر القسم 4.4h) أيضًا اختلافات فى ال
تعبير الجينى بين الاثنين. قد يمثل انقسام الأرومة الجنينية محاولة لكل كتلة خلوية
 لرفض الأخرى باعتبارها مختلفة جينيًا وبداياتها أجنبية.



الشكل 29.3 توأمان ثنائى الزيجوت مع مشيمتين منفصلتين.
صورة بالموجات فوق الصوتية ثلاثية الأبعاد. تُظهر هذه أيضًا حالة نادرة تُسمى
 الرحم المقسوم، حيث يفصل جدار وسطى الرحم
إلى حجرتين. غالبًا ما يؤدى هذا إلى الإجهاض.
برنارد بينوا/GE للرعاية الصحية/Science Source

الشكل 29.4 الزرع.)أ(هيكل الكرة الأريمية بعد ٦ إلى ٧ أ يام من الإباصة، عندما تلتصق لأول مرة بحائط الرحم.)ب(تقدم ع ملية الزرع بعد حوالى يوم واحد. بدأت الخلايا التغصنية المتزامنة فى نمو جذور تخترق بطانة الرحم.)ح(بحلول اليوم ١٦، يكون ال جنين مغطى بالكامل بنسيج بطانة الرحم. الجنين محاط الآن بكى س صفار والأغشية الأمنيوسية ويتكون من ثلاث طبقات جر ثومية أساسية.

المنتصف)الشكل 29.5(. تجعل هذه الأحداث الجنين متماثلًا ثنائى الجانب وتحدد جانبيه الأيمن والأيسر، والأسطح الظهرية والبطنية، وال نهايات الرأسية والذيلية)الرأس والذيل(.

الخطوة التالية هى التكوّن الجرثومى — حيث تهاجر خلايا الإبى بلاست باتجاه الأخدود البدائى وتنزل فيه. تستبدل هذه الخلايا الهيبو بلاست الأصلى بطبقة تُسمى الآن الطبقة الداخلية)الإندوديرم(، التى ستصبح البطانة الداخلية للجهاز الهضمى من بين أشياء أخرى. بعد يو م، تشكل خلايا الإبى بلاست المهاجرة طبقة ثالثة بين الطبقتين الأولى ين، تسمى الطبقة الوسطى)الميزوديرم(. بمجرد تكوين هذه الطبقة، يُطلق على الإبى بلاست المتبقى الطبقة الخارجية)الإكتوديرم(. وه كذا، تنشأ الطبقات الجرثومية الثلاثة الأولية كلها من الإبى بلاست الأ صلى. بعض الميزوديرم يفيض خارج القرص الجنينى ويصبح ميزودير مًا إضافيًا خارج الجنين واسع النطاق، الذى يساهم فى تكوين المش يمة)الشكل 29.4ح(.

الإكتوديرم والإندوديرم هما طبقتان طلائيتان تتكونان من خلايا متما سكة بإحكام، لكن الميزوديرم هو نسيج أكثر تنظيمًا بشكل فضفاص. يتمايز لاحقًا إلى عضلات هيكلية ونسيج ضام جنينى يسمى الميزنكيم — شبكة فضفاضة من خلايا ميزنكيمية رقيقة مدمجة فى مادة أ ساسية هلامية. يتمايز الميزنكيم بدوره إلى أنسجة مثل العضلات المل ساء والقلبية، والغضاريف، والعظام، والدم.

بمجرد تكوين الطبقات الجرثومية الثلاثة الأولية، يكتمل التكوين ا لجنينى ويُعتبر الفرد جنينًا. يبلغ طوله حوالى 2 مم ويبلغ عمره 16 يومًا فى هذه المرحلة.



نظرة أعمق 29.2

التطبيق السريرى

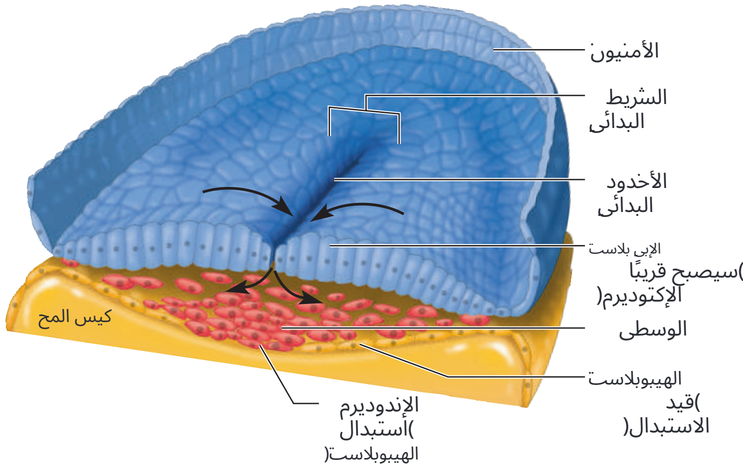
الحمل خارج الرحم

فى حوالى حالة واحدة من بين كل 300 حمل، يزرع الكيسة الأريمية فى مكان غير ا لرحم، مما يؤدى إلى حدوث حمل خارج الرحم[5]. معظم الحالات هى حمل أنبوبى، حيث يتم الزرع فى قناة فالوب. يحدث هذا عادةً لأن الجنين يواجه تضيقًا ناتجًا ع ن أسباب مثل التهاب الحوض السابق، أو جراحة القناة، أو حالات الحمل خارج الر حم السابقة، أو الإجهاض المتكرر. لا تستطيع قناة فالوب التوسع بما يكفى لاستيع اب الجنين النامى لفترة طويلة؛ إذا لم يتم الكشف عن الحالة وعلاجها مبكرًا، فإن ا لقناة عادةً ما تتمزق خلال 12 أسبوعًا، مما قد يؤدى إلى نزيف قاتل. أحيانًا، يزرع ا لجنين فى تجويف البطن والحوض، مما يؤدى إلى حمل بطنى. يمكن أن ينمو ف ى أى مكان يجد فيه إمدادًا دمويًا كافيًا — على سبيل المثال، على الرباط العريض أو خارج الرحم، أو القولون، أو المثانة. حوالى حالة واحدة من بين كل 7000 حمل ه ى حمل بطنى. هذا يشكل تهديدًا خطيرًا لحياة الأم وعادةً ما يتطلب إجهاضًا علاجيًا ، لكن حوالى 9% من حالات الحمل البطنى تؤدى إلى ولادة حية عن طريق الولادة ا لقيصرية.

فى الوقت نفسه، يمتد القرص الجنينى، وحوالى اليوم 15، يتكون طبقة خلوية سميكة تسمى الخط البدائى على طول الخط الوسيط من الإبى بلاست، مع أخدود بدائى يمتد على طول

[5] ec = خارج؛ top = مكان

بعد ستة عشر يومًا من الحمل، تكون الطبقات الجرثومية موجودة وت بدأ مرحلة التطور الجنينية. خلال الأسابيع الستة التالية، يتكون المشيم ة على جدار الرحم وتصبح الوسيلة الأساسية لتغذية الجنين، بينما تتما يز الطبقات الجرثومية إلى أعضاء وأنظمة أعضاء — وهى عملية تُسم ى تكون الأعضاء)organogenesis( )الجدول 29.2(. على الرغم من أن هذه الأعضاء لا تزال بعيدة عن أن تكون وظيفية، إلا أن وجودها فى الأسبوع الثامن يمثل الانتقال من الم رحلة الجنينية إلى المرحلة الجنينية المتقدمة)الجنين(. فى الأقسام ال تالية، سنستعرض التحول من الجنين إلى الجنين المتقدم، وكيف تتط ور الأغشية المعروفة مجتمعة باسم "المشيمة" حول الجنين، وكيف يتم تغذية الجنين طوال فترة الحمل.



الشكل 29.5 تكوين الطبقات الجرثومية الأولية
)التجويف(. عرض مركب للقرص الجنينى فى اليومين 15 إلى 16. تهاجر خلايا الإبى بلاست فوق السطح وإلى داخل الأخدود البدائى، حيث تستبدل أولاً خلايا الهيبوبلاست بالطبقة الداخلية)الإندوديرم(، ثم تملأ الفراغ بالطبقة الوسطى)الميسوديرم(. عند اكتمال هذه العملية، تعتبر الطبقة العلوية هى الأديم الظاهر)الإكتوديرم(.

29.2أ الطى الجنينى وتكوين الأعضاء

تحول رئيسى فى المرحلة الجنينية هو تحويل القرص الجنينى المسط ح فى الشكل 29.5 إلى شكل أسطوانى إلى حد ما. يحدث هذا خلال ا لأسبوع الرابع مع نمو الجنين بسرعة وطيه حول كيس المح)صفار ال بيضة( )الشكل 29.6(. مع انحناء النهايات الرأسية والذيلية حول نها يات كيس المح، يصبح الجنين على شكل حرف C، مع تقارب الرأس والذيل تقريبًا. فى نفس الوقت، تطوى الحواف الجانبية للقرص حول جانبى كيس المح لتشكيل السط ح البطنى للجنين. هذا الطى الجانبى يغلق قناة طولية، وهى الأمعاء ا لبدائية التى تصبح لاحقًا الجهاز الهضمى.

نتيجة للطى الجنينى، يغطى السطح بأكمله الأديم الظاهر، الذى ى نتج لاحقًا البشرة. فى هذه الأثناء، ينقسم الأديم المتوسط إلى طبقتين . تلتصق إحداهما بالأديم الظاهر والأخرى بالأديم الباطن، مفتحة تجوى فًا جسديًا بينهما يسمى التجويف الجنينى)coelom( )انظر الشكل 29.6ح(. ينقسم التجويف الجنينى إلى تجويف صدرى وتجويف بريتونى مفصولين بجدار، وهو الحجاب الحاجز. بحلول نهاية الأسبوع الخامس ، ينقسم التجويف الصدرى إلى تجاويف جنبية وتجاويف حول القلب.

حدثان مهمان آخران فى تكوين الأعضاء هما ظهور الأنبوب الع صبى)الشكل 29.6ب(، الذى سيصبح لاحقًا الدماغ والحبل الشوكى، وتقسيم الأديم المتوسط إلى كتل نسيجية تسمى السوماتات)الشك ل 29.7أ، ب(. هذه ستتطور إلى العمود الفقرى وعضلات الجذع والأدم ة)الطبقة الجلدية الداخلية(للبشرة.
لا يمكننا التعمق أكثر فى تطور جميع أنظمة الأعضاء، لكن هذا الو صف يكفى على الأقل لرؤية كيف يبدأ بعضها فى التكون. وقد تم و صف بعضها أيضًا فى الفصول السابقة. ملخص لأبرز مراحل التطور قبل الولادة حتى نهاية الحمل موجود فى الجدول 29.3. يتم تتبع النم و قبل الولادة بالوزن وطول الجسم. يُقاس طول الجسم عادة من تاج ا لرأس إلى انحناء الأرداف

)طول التاج إلى الردف، CRL(وبالتالى يستثنى الأطراف السفلية. يوضح الشكل 29.7 بعض الخصائص الرئيسية لتطور الجنين والجني ن المتقدم. فى المناقشة التالية، سنرى كيف تتطور هذه الخصائص.

▶▶▶ طبق ما تعرفه

اذكر الأنواع الأربعة الرئيسية للأنسجة فى جسم البالغ)انظر القسم 5.1(وحدد أى من الطبقات الجرثومية الثلاثة الأساسية للجنين تعطى فى الغالب كل نوع منها.

قبل أن تتابع

أجب أو أكمل ما يلى لاختبار فهمك للقسم السابق:

1. كم من الوقت يمكن للحيوان المنوى أن يصل إلى البويضة بعد القذف؟ كم من الوقت يمكنه تخصيب البويضة؟ ما الذى يفسر هذا الاخ تلاف؟
2. صف طريقتين تمنع بهما البويضة المخصبة دخول الحيوانات الم نوية الزائدة.
3. فى الكيسة الأريمية، ما اسم الخلايا التى ستتطور فى النهاية إلى ا لجنين؟ وما هى الخلايا التى تقوم بعملية الانغراس؟
4. ما السمة الرئيسية التى تميز الجنين عن ما قبل الجنين؟

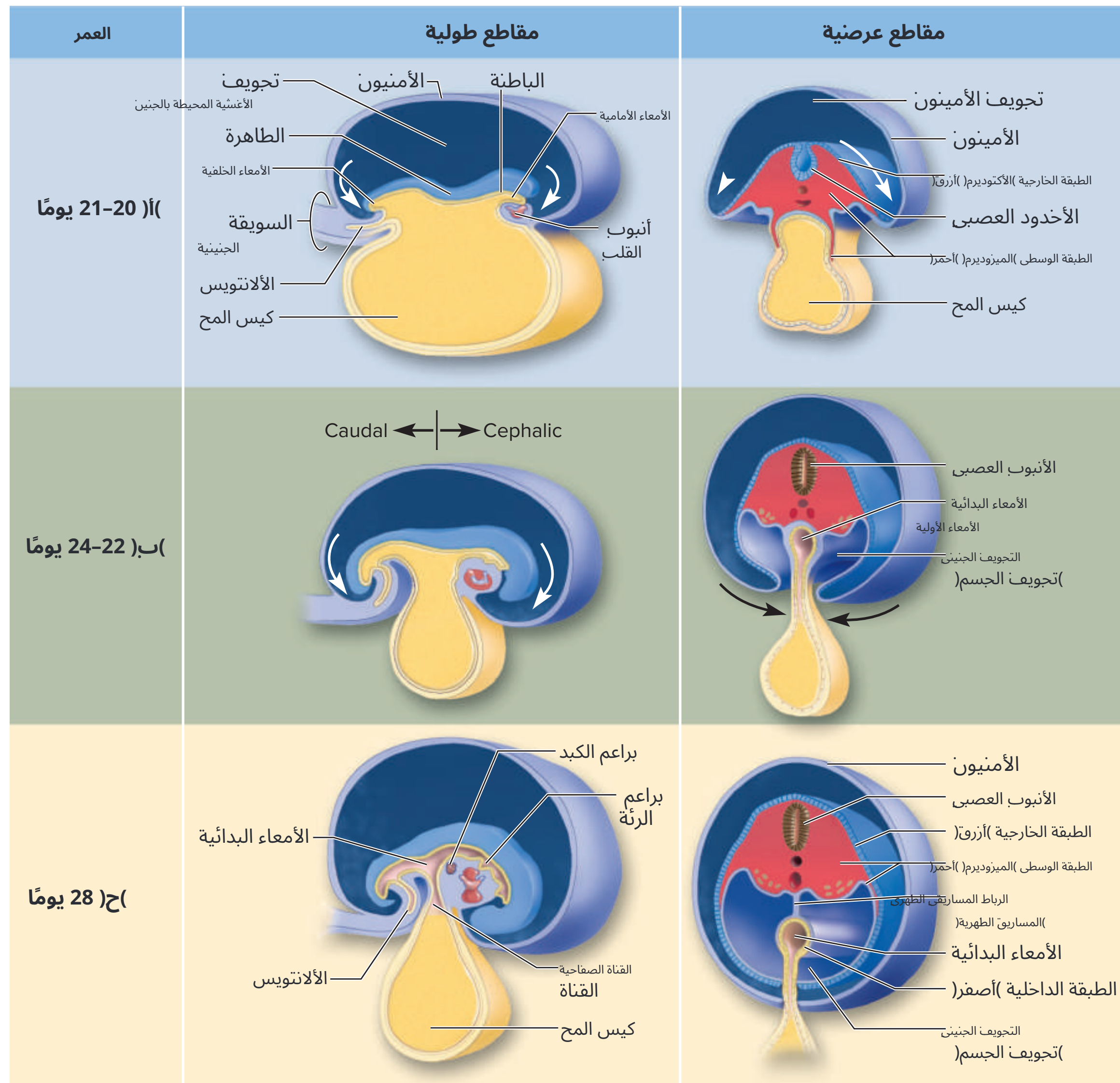
29.2 المراحل الجنينية والج نينية

النتائج التعليمية المتوقعة

عندما تكمل هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف تكوين ووظائف المشيمة؛
ب. شرح كيف يتم تغذية الجنين قبل أن تتولى المشيمة هذه ا لوظيفة؛
ح. وصف الأغشية خارج الجنين ووظائفها؛
د. تحديد الأنسجة الرئيسية المشتقة من الطبقات الجرثومية الأولية ؛
هـ. وصف الأحداث الرئيسية لتطور الجنين؛ و
و. وصف نظام الدورة الدموية الجنينى.

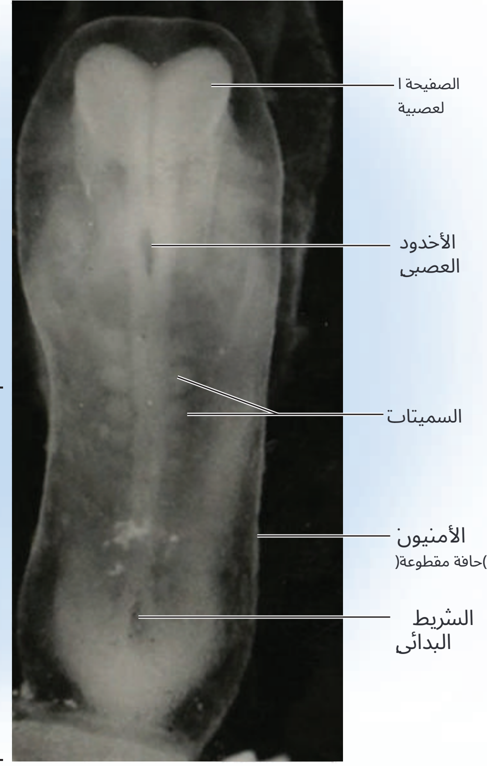
الجدول 29.2	مشتقات الطبقات الجرثومية الثلاث الأساسية
طبقة الجرثومة	**المشتقات الرئيسية**
الظاهرة	البشرة؛ بصيلات الشعر وعضلات القائمين؛ الغدد الجلدية؛ الجهاز العصبي؛ لب الغدة الكظرية؛ الغدة الصنوبرية والغدة النخامية؛ العدسة، القرنية، والعضلات الداخلية للعين؛ الأذن الداخلية والخارجية؛ الغدد اللعابية؛ ظهارة تجويف الأنف، تجويف الفم، وقناة الشرج
الوسطى	العظام؛ نخاع العظم؛ الغضاريف؛ العضلات الهيكلية والقلبية ومعظم العضلات الملساء؛ قشرة الغدة الكظرية؛ الأذن الوسطى؛ الأدمة؛ الدم؛ الأو عية الدموية واللمفاوية؛ الأنسجة اللمفاوية؛ ظهارة الكلى والحالبين والغدد التناسلية والقنوات التناسلية؛ الميزوثيليوم في تجاويف البطن والصدر
الباطنة	معظم ظهارة الأغشية المخاطية في الجهازين الهضمي والتنفسي؛ ظهارة الأغشية المخاطية للمثانة البولية وأجزاء من الإحليل؛ المكونات الظهار ية للغدد التناسلية والهضمية الملحقة)باستثناء الغدد اللعابية(؛ الغدة الدرقية والغدد الجار درقية؛ الغدة الزعترية



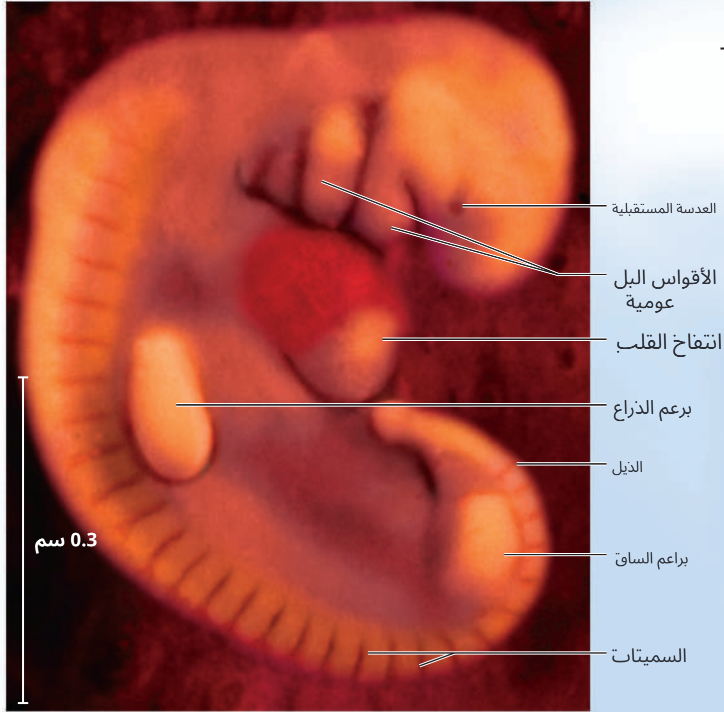
الشكل 29.6 طي الجنين. الأشكال على اليمين هي مقاطع عرضية مقطوعة تقريبًا في منتصف الأشكال على اليسار. الجزء)أ(يتوافق مع الشكل 29.4ح في مرحلة تطور لاحقة قليلاً. لاحظ الاتجاه العام لنهايات الرأس والذيل)الرأس والذيل(للكائن الحي للانحناء نحو بعضهما البعض)الأشكال على اليسار(حتى يتخذ الجنين شكل الحرف C، ولأجناب الجنين أن تطوى جانبيًا)الأشكال على اليمين(، مما يحول القرص الجنيني المسطح إلى جسم أكثر أسطوانية وفي النهاية يحصر تجويفًا جسديًا)ح(.

الشكل 29.7 الإنسان النامى. الأجزاء)أ(إلى)د(تُظهر التطور حتى نهاية المرحلة الجنينية. الأجزاء)هـ(و)و(تمثلان مرحلة تطور الجنين.

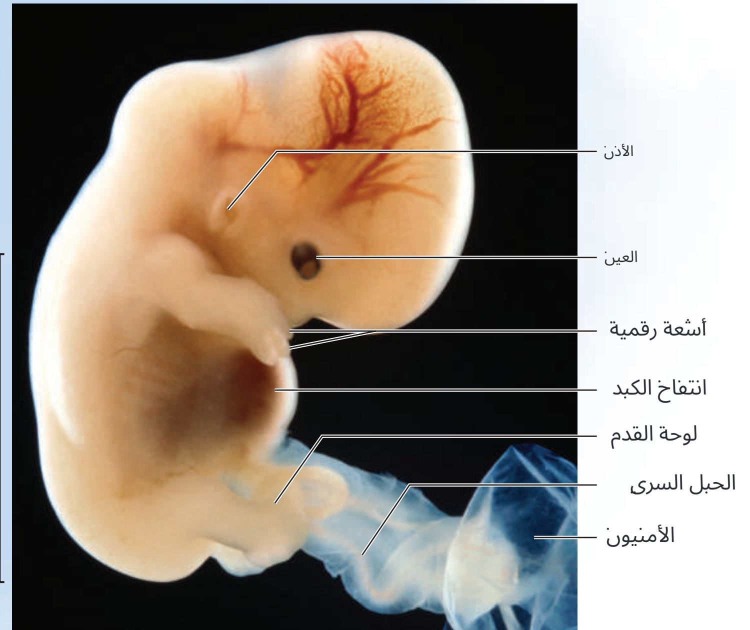
أ: مركز تشريح التطور البشرى/المتحف الوطنى للصحة والطب؛ ب: سجل السفر التشريحى/مصدر العلوم؛ ح: نيل هاردينغ/مخزن الصور/صور غيتى؛ د: د. ح. موسكوسو/مصدر العلوم؛ هـ: جون واتنى/مصدر العلوم؛ و: جمعية بيوفوتو/مصدر العلوم



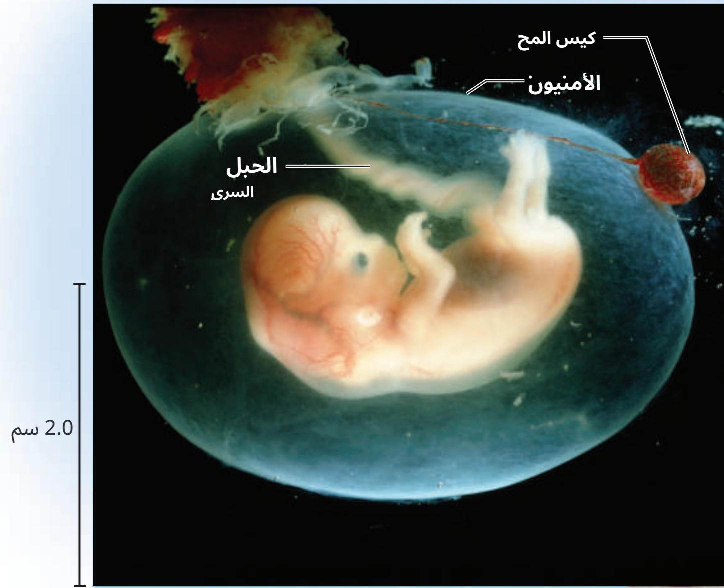
)أ(3 أسابيع



)ب(٤ أسابيع



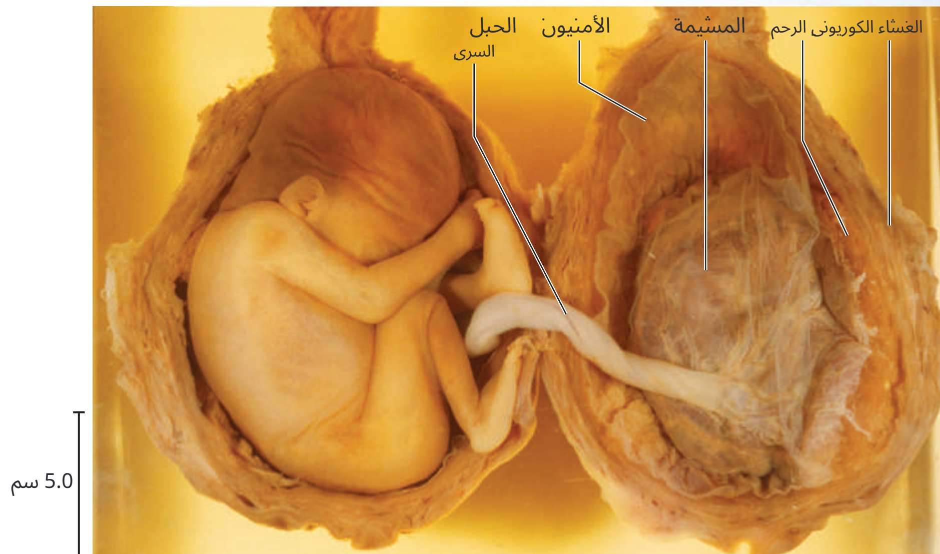
)ح(7 أسابيع



)د(8 أسابيع



)هـ(12 أسبوعًا



)و(20 أسبوعًا

الجدول 29.3 **الأحداث الرئيسية فى التطور قبل الولادة، مع التركيز على مرحلة الجنين**

نهاية الأسبوع	طول التاج إلى الردف الوزن	الأحداث التطورية
4	0.6 سم؛ أقل من 1 غرام	يبدأ تكوين العمود الفقرى والجهاز العصبى المركزى؛ الأطراف ممثلة ببرعمات صغيرة؛ يبدأ القلب بالنبض حوالى اليوم 22؛ لا توجد عيون أو أنف أو آذان مرئية
8	3 سم؛ 1 غرام	تتكون العيون، وتلتحم الجفون؛ الأنف مسطح، والمنافذ الأنفية واضحة لكنها مسدودة بالمخاط؛ الرأس يكاد يكون بحج م بقية الجسم؛ يمكن الكشف عن موجات الدماغ؛ يبدأ تكلس العظام؛ تتشكل برعمات الأطراف لتصبح أيدى وأقدام على شكل مجداف مع نتوءات تسمى الأشعة الرقمية، والتى تنفصل بعد ذلك إلى أصابع وأصابع قدم مميزة؛ تتكون خ لايا الدم والأوعية الدموية الرئيسية؛ الأعضاء التناسلية موجودة لكن الجنس غير مميز بعد
12	9 سم؛ 45 جرام	العينان متطورتان جيدًا، تواجهان جانبيًا؛ الجفون لا تزال ملتحمة؛ الأنف يطور جسرًا؛ الأذنان الخارجيّتان موجودتان؛ ا لأطراف متشكلة جيدًا، والأصابع تظهر عليها أظافر؛ الجنين يبتلع السائل الأمنيوسى وينتج البول؛ الجنين يتحرك، لكن الحركة ضعيفة جدًا بحيث لا تشعر بها الأم؛ الكبد بارز وينتج الصفراء؛ الحنك فى طور الالتحام؛ يمكن تمييز الجنسين
16	14 سم؛ 200 جرام	العينان تواجهان إلى الأمام، الأذنان الخارجيّتان بارزتان عن الرأس، الوجه يبدو أكثر إنسانية بوضوح؛ الجسم أكبر نسبة إ لى الرأس؛ الجلد وردى فاتح، فروة الرأس بها شعر؛ المفاصل تتشكل؛ الشفاه تظهر حركات مص؛ الكليتان متشكلتان ح يدًا؛ الغدد الهضمية تتشكل والميكونيوم[6])براز الجنين(يتراكم فى الأمعاء؛ يمكن سماع نبض القلب باستخدام السماع ة الطبية
20	19 سم؛ 460 جرام	الجسم مغطى بشعر ناعم)لانوجو[7] (وإفراز دهنى يشبه الجبن يسمى فيرنيكس كازيوسا[8] يحميه من السائل الأمنيوسى؛ الجلد وردى فاتح؛ الدهون البنية تتشكل وسيتم استخدامها لإنتاج الحرارة بعد الولادة؛ الجنين الآن منحنى إلى الأمام فى "وضع الجنين" بسبب الازدحام؛ تحدث حركة الجنين—يمكن للأم أن تشعر بحركات الجنين
24	23 سم؛ 820 جم	العيون مفتوحة جزئيًا؛ الجلد مجعد، وردى وشفاف؛ تبدأ الرئتان فى إنتاج مادة السورفاكتانت؛ زيادة سريعة فى ا لوزن
28	٧٢ سم؛ ٠٠٣١ غرام	العيون مفتوحة بالكامل؛ الجلد مجعد وأحمر؛ وجود رأس كامل من الشعر؛ تكون الرموش؛ يتحول الجنين إلى وضع ية رأس مقلوبة/رأسية؛ تبدأ الخصيتان فى النزول إلى كيس الصفن؛ قابلية البقاء هامشية إذا وُلد فى ٨٢ أسبوعًا
32	٠٣ سم؛ ٠٠١٢ غرام	ترسيب الدهون تحت الجلد يمنح الجنين مظهرًا أكثر امتلاءً وطفوليًا، مع جلد أخف وأقل تجعدًا؛ نزول الخصيتين؛ عادةً ما يولد التوأم فى هذه المرحلة
36	٤٣ سم؛ ٠٠٩٢ غرام	ترسيب المزيد من الدهون تحت الجلد، الجسم ممتلئ؛ يتساقط الشعر الناعم؛ تمتد الأظافر إلى أطراف الأصابع؛ الأطرا ف مثنية؛ قبضة يد قوية
38	36 سم؛ 3400 جرام	صدر بارز، ثديان بارزان؛ الخصيتان فى القناة الإربية أو كيس الصفن؛ الأظافر تمتد إلى ما بعد أطراف الأصابع

29.2ب الأغشية خارج الجنين

تتطور عدة أعضاء مساعدة إلى جانب الجنين: *المشيمة؛ الحبل السرى؛* وأربعة أغشية خارج الجنين تُسمى *الأمين، كيس المح، الألانتويس، و الكوريون*)الشكلان 29.6، 29.7(. لفهم هذه الأغشية، من المفيد أن ندرك أن جميع الثدييات تطورت من الزواحف التى تبيض. داخل البيضة المغلقة والمحكمة التى تضعها الزواحف، يستقر الجنين فوق المح، الذى يُحاط فى كيس المح؛ ويُغمر فى بحر صغير من السائل المحتوى فى الأمين؛ ويخزن نفاياته السامة فى الألانتويس؛ وللتنفس، لديه كوريون يسمح بمرور الغازات. كل هذه الأغشية تستمر فى الثدييات، بما فى ذلك البشر، لكنها تُعدل فى وظائفها.

الأمين البشرى هو كيس شفاف يتطور من خلايا الإبى بلاست)انظر الشكلين 29.4ح، 29.5(. ينمو ليغلف الجنين بالكامل ولا يخترقه سوى الحبل السرى. يمتلئ الأمين بسائل السائل الأمنيوسى)الشكل 29.7د(، الذى يحمى الجنين من الصدمات، العدوى، وتقلبات الحرارة؛ يسمح بحرية الحركة المهمة لتطور العضلات؛ يمكن الجنين من التطور بشكل متماثل؛ يم نع التصاق أجزاء الجسم ببعضها، مثل التصاق الذراع بالجذع؛ ويحفز تطور الرئتين بينما "يتنفس" الجنين السائل. فى البداية، \يتكون السا ئل الأمنيوسى عن طريق ترشيح بلازما دم الأم، لكن بدءًا من الأسبوع 8 إلى 9، يتبول الجنين فى تجويف الأمين مرة واحدة تقريبًا فى الساع ة ويساهم بشكل كبير فى حجم السائل. ومع ذلك، ينمو الحجم ببطء لأ ن الجنين يبتلع السائل الأمنيوسى بنفس المعدل تقريبًا. عند الولادة، يحتوى الأمين على 700 إلى 1000 مل من السائل.

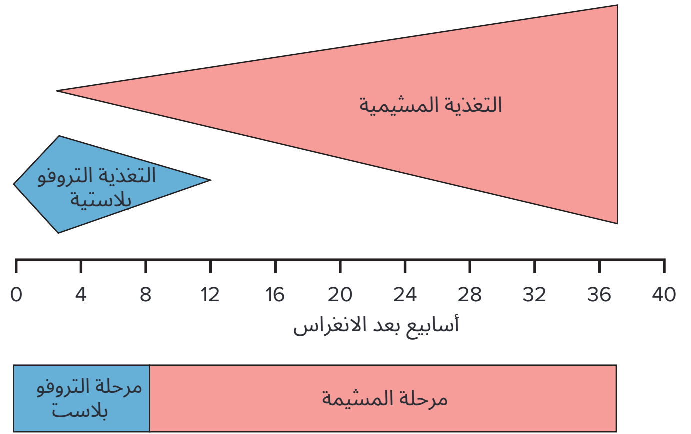
ينشأ كيس المح من خلايا الهيبوبلاست المقابلة للأمين. إنه كيس صغير معلق من الجانب البطنى للجنين. يساهم فى تكوين الجهاز الهضمى وينتج أولى خلايا الدم وسلفيات خلايا البويضات أو الحيوانات المنوية المستقبلية.

يبدأ الألانتويس (ah-LON-toe-iss) كبروز من كيس المح)انظر الشكل 29.4ح(، لكنه فى النهاية يصبح امتدادًا لنهاية الذيلية للأمعاء. يشكل أساس الحبل السرى ويصبح متصلًا بالمثانة البولية. يمكن رؤيته فى مقاطع عرضية للحبل السرى المقطوع بالقرب من الطرف الجنينى.

[6] *mecon* = عصير الخشخاش، الأفيون؛ يشير إلى مظهر مشابه للأفيون الأسود القارّى

[7] *lan* = زغب، صوف

[8] *الفرنيكس* = الورنيش؛ *الكازيو* = الجبن



الشكل 29.8 جدول توقيت التغذية التروفوبلاستية والمشيمية. تبلغ التغذية التروفوبلاستية ذروتها عند الأسبوع الثانى وتنتهى بحلول الأسبوع الثانى عشر. تبدأ التغذية المشيمية عند الأسبوع الثانى وتزداد أهميتها تدريجياً حتى الولادة، أى بعد 37 أسبوعًا من الانغراس. يتداخل نمطا التغذية حتى الأسبوع الثانى عشر، لكن مرحلة التروفوبلاس ت هى الفترة التى يتم فيها توفير معظم المغذياتعن طريق التغذية الترو فوبلاستية، ومرحلة المشيمة هى الفترة التى تأتى فيها معظم)وفى النها ية كل(التغذية منالمشيمة.

فى أى نقطة يساهم النمطان بالتساوى فى التغذية قبل الولادة؟

تصبح محاطة ببرك من دم الأم الحر، والتى تندمج فى النهاية لتشكل مساحة كبيرة مملوءة بالدم، تُسمى الجيب المشيمى. يحرض دم الأم تطور الزغابات بشكل متزايد وسريع، حيث تتفرع وتنمو إلى أشكال تشبه براعم القرنبيط الصغيرة.

عندما تكون المشيمة مكتملة النمو، يبلغ قطرها حوالى 20 سم، و سمكها 3 سم، وتزن حوالى سدس وزن المولود الجديد. السطح المت صل بجدار الرحم خشن ويتكون من زغابات كوريونية مدمجة فى بطانة الرحم. السطح المواجه للجنين أملس وينشأ منه الحبل السرى)الشك ل 29.9(.

يحتوى الحبل السرى على شريانين سريين ووريد سرى واحد. يض خ القلب الجنينى الدم إلى المشيمة عبر الشرايين السريّة ثم يعود إلى الجنين عبر الوريد السرى. الزغابات الكوريونية مملوءة بالدم الجنينى و محاطة بدم الأم)الشكل 29.9أ(؛ ولا يختلط الدمان إلا إذا حدث تلف فى الحاجز المشيمى. ومع ذلك، فإن الحاجز لا يتجاوز سمكه 3.5 ميكر ومتر—أى نصف قطر خلية الدم الحمراء. فى المراحل المبكرة من التط ور، تمتلك الزغابات أغشية سميكة غير منفذة جيدًا للمواد الغذائية وا لنفايات، ومساحة سطحها الكلية صغيرة نسبيًا. مع نمو الزغابات وتفر عها، تزداد مساحة السطح وتصبح الأغشية أرق وأكثر نفاذية. هذا يؤد ى إلى زيادة كبيرة فى توصيلية المشيمة، وهى معدل انتشار المواد ع بر الغشاء. تنتشر المواد من الجانب الذى تكون فيه أكثر تركيزًا إلى الح انب الأقل تركيزًا. لذلك، ينتقل الأكسجين والمواد الغذائية من دم الأم إلى دم الجنين، بينما تنتقل نفايات الجنين فى الاتجاه المعاكس ليتم ا لتخلص منها بواسطة الأم.لسوء الحظ، المشيمة هى

الغشاء الكوريون هو الغشاء الخارجى، الذى يحيط بجميع الأغشية الأخرى والجنين)الشكل 29.7f(. فى البداية، يحتوى على نتوءات خ شنة تسمى الأمشاط الكوريونية حول سطحه بالكامل، ولكن مع تقدم ا لحمل، تنمو وتتفرع الأمشاط فى منطقة المشيمة بينما تتحلل بقية ا لأمشاط. عند نقطة التعلق بالمشيمة، يُطلق على الكوريون اسم *الكور يون المشيمى*، والباقى يسمى *الكوريون الأملس*. يشكل الكوريون الم شيمى الجزء الجنينى من المشيمة، والذى سيتم مناقشته قريبًا.

29.2c التغذية قبل الولادة

خلال فترة الحمل، يتم تغذية الجنين بطرق ثلاث مختلفة ومتداخلة: بواسطة *حليب الرحم، التغذية التروفوبلاستية، والتغذية المشيمية.*

حليب الرحم هو إفراز غنى بالجليكوجين من قنوات الرحم وغدد بطانة الرحم. يمتص الجنين هذا السائل أثناء تحركه عبر القناة ويكون حرًا فى تجويف الرحم قبل الانغراس. يشكل السائل المتراكم التجويف الأريمى فى الشكل 29.4a.

عند الانغراس، ينتقل الجنين إلى التغذية التروفوبلاستية، حيث يستهلك ما يسمى خلايا بطانة الرحم المتقرنة من بطانة الرحم. يحفز ا لبروجسترون من الجسم الأصفر هذه الخلايا على التكاثر وتخزين الجلى كوجين والبروتينات والدهون. أثناء تغلغل الجنين فى بطانة الرحم، يقو م التروفوبلاست المتزامن بهضم خلايا بطانة الرحم المتقرنة ويوفر الم غذيات للكتلة الخلوية الداخلية. التغذية التروفوبلاستية هى الطريقة الو حيدة للتغذية خلال الأسبوع الأول بعد الانغراس. وتظل المصدر الرئى سى للمغذيات حتى نهاية الأسبوع الثامن؛ لذلك تُسمى الفترة من الا نغراس حتى الأسبوع الثامن المرحلة التروفوبلاستية من الحمل. تتناق ص التغذية التروفوبلاستية مع تولى التغذية المشيمية، وتتوقف تمامًا بحلول نهاية الأسبوع الثانى عشر)الشكل 29.8(.

المشيمة[10]هى نظام دعم الحياة للجنين — عضو على شكل قر ص متصل بجدار الرحم من جهة، ومن الجهة الأخرى متصل بالجنين ع بر الحبل السرى)الشكل 29.9(. إنها مصدر الأكسجين والمواد الغذائية للجنين، ووسيلته للتخلص من الفضلات، ومصدر مهم للهرمونات ال تى تنظم الحمل.انتشار المواد الغذائية من دم الأم عبر المشيمة إلى د م الجنين يُسمى تغذية المشيمة.

يبدأ المشيمة فى التطور حوالى 11 يومًا بعد الإخصاب، وتصبح ا لوسيلة السائدة للتغذية حوالى بداية الأسبوع التاسع، وتكون الوسيلة ا لوحيدة للتغذية من نهاية الأسبوع الثانى عشر وحتى الولادة. الفترة من الأسبوع التاسع حتى الولادة تُسمى مرحلة المشيمة للحمل.

تُظهر الشكل 29.4ح التطور المبكر للمشيمة، أو التكوّن المشيمى . تبدأ العملية حوالى نهاية الأسبوع الثانى، عندما تنمو امتدادات من ا لسيتوتروفوبلاست)باللون البنفسجى فى ذلك الشكل(، وهى أول الزغ ابات الكوريونية، داخل السينسيتوتروفوبلاست)باللون الأخضر(. ينمو النسيج المتوسط خارج الجنين قريبًا داخل نواة هذه الزغابات ويُنتج أو ل خلايا الدم والأوعية الدموية للمشيمة. فى النهاية، ستتصل امتدادات هذه الأوعية بالجنين إلى المشيمة. بين ما تهضم الزغابات طريقها داخل أوعية الدم الرحمية،

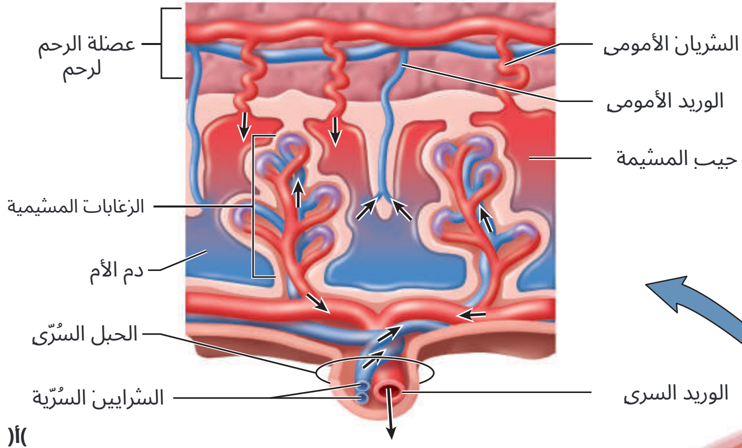
---

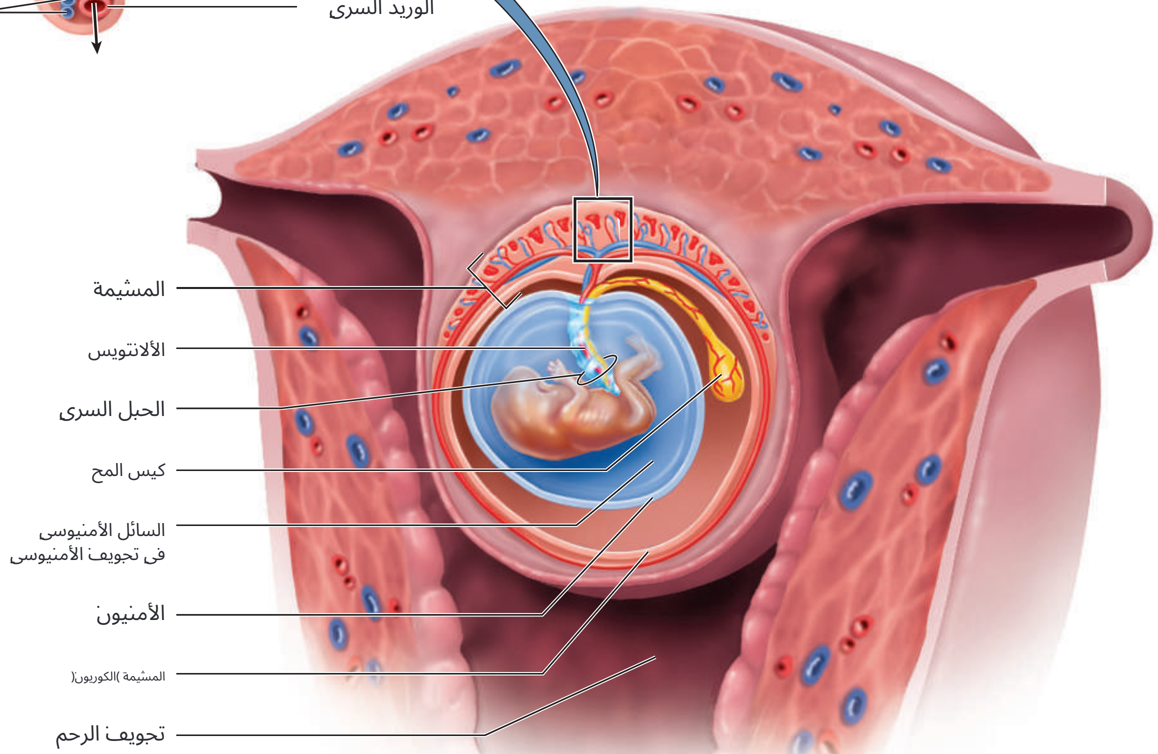
decid[9] = التساقط
placenta[10] = الكعكة المسطحة

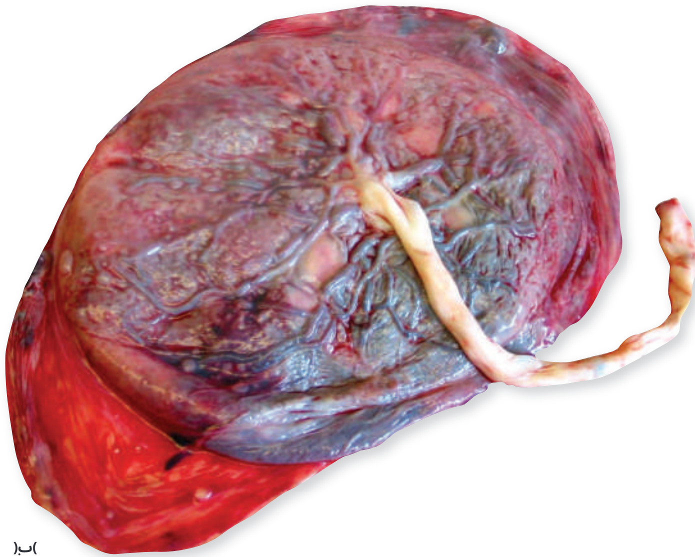
الشكل 29.9 المشيمة والأغشية خارج الجنين.
)أ(المشيمة فى الأسبوع الثانى عشر من الحمل، تُظهر العلاقة بين الدورة الدموية الجنينية والأمومية والعلاقة بين المشيمة وا لجنين والأغشية خارج الجنين الملتصقة بجدار الرحم.)ب(الجانب ال جنينى من المشيمة بعد الولادة، يُظهر الأوعية الدموية، الحبل السُرّى، وبع ض كيس السلى الملتصق بالحافة السفلية اليسرى.

)ح(الجانب الأمومى)الرحمى(، حيث تعطى الزغابات المشيمية للم شيمة ملمسًا أكثر خشونة.

ب-ح: د. كورت بينيرشكى






)ب(


)ح(

وظائف المشيمة	الجدول 29.4
تسمح بانتقال المغذيات مثل الجلوكوز، الأحماض الأمينية، الأحماض الدهنية، المعادن، والفيتامينات من دم الأم إلى دم الجنين؛ تخزن المغذيات مثل الكربوهيدرات، البروتين، الحديد، والكالسيوم في بداية الحمل وتفرج عنها للجنين لاحقًا، عندما يكون الطلب اليومي للجنين أكبر مما يمكن للأم امتصاصه من النظام الغذائي	الأدوار الغذائية
تسمح بانتقال الفضلات النيتروجينية مثل الأمونيا، اليوريا، حمض اليوريك، والكرياتينين من دم الجنين إلى دم الأم لكي تتمكن الأم من إخراجها	الأدوار الإخراجية
تسمح بانتقال الأكسجين (O_2) من الأم إلى الجنين و ثاني أكسيد الكربون (CO_2) من الجنين إلى الأم	الأدوار التنفسية
تفرز الإستروجينات، البروجسترون، الريلاكسين، ا لهرمون المشيمي البشري (hCG)، والهرمون الم شيمي السوماتروبي البشري؛ تسمح بمرور هرمونا ت أخرى يتم تصنيعها بواسطة الجنين إلى دم الأم وهرم ونات الأم إلى دم الجنين	الأدوار الصمائية
ينقل الأجسام المضادة الأمومية (وخاصة IgG) إلى دم الجنين لمنحه مناعة سلبية على الجنين	الأدوار المناعية

بعد خروج الدم من البطين الأيسر يدخل الدورة الدموية الجهازية العامة ، ويعود جزء من هذا الدم إلى المشيمة. يتغير هذا النمط الدوري بشك ل كبير عند الولادة، عندما يُقطع حديث الولادة عن المشيمة وتتوسع ا لرئتان بالهواء. سيتم وصف هذه التغيرات لاحقًا.

يبلغ متوسط طول الجنين الكامل المدة من التاج إلى الردف حوالي 36 سم (14 بوصة) ومتوسط الوزن حوالي 3.0 إلى 3.4 كجم (6.6–7.5 رطل). يكتسب الجنين حوالي 50% من وزنه عند الولادة في الأسابيع العشرة الأخيرة.

راجع الجدول 29.3 والشكل 29.7 لمزيد من الجوانب المتعلقة بتطور الجنين.

ل المتابعة

أجب أو أكمل ما يلي لاختبار فهمك للقسم السابق:

5. تمييز بين التغذية التروفوبلاستية وتغذية المشيمة.
6. تحديد مصدرَي الدم إلى المشيمة. أين يقترب هذان التياران الدمويان من بعضهما البعض أكثر؟ وما الذي يحافظ على فصلهما؟
7. ذكر وظائف المشيمة، الأمينون، الكوريون، كيس المح، والعلانطو يس.
8. ما هي الخاصية التنموية التي تميز الجنين عن الجنين المبكر؟ ف ي أي عمر حمل يتحقق ذلك؟
9. حدد التحويلات الدموية الثلاثة للجنين. لماذا يأخذ الدم هذه "الطرق المختصرة" قبل الولادة؟

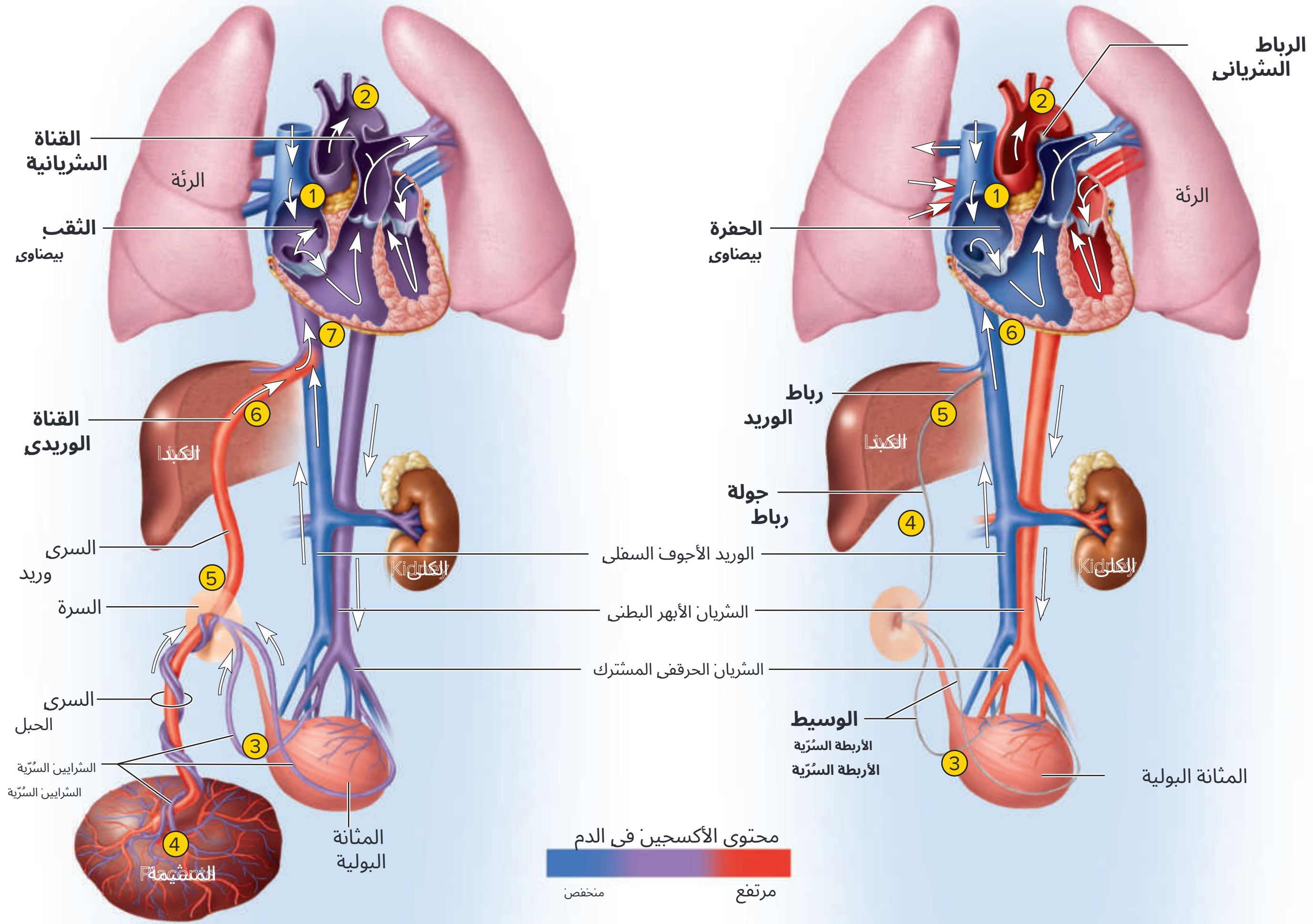
أيضًا نفاذة للنيكوتين والكحول وغيرها من الأدوية التي قد تكون موجودة في مجرى دم الأم.
الجدول 29.4 يلخص الوظائف الغذائية والإخراجية وغيرها للمشيمة.

29.2د تطور الجنين

بحلول نهاية الأسبوع الثامن، تكون جميع أجهزة الجسم موجودة، ويبلغ طول الفرد حوالي 3 سم، ويُعتبر الآن جنينًا (انظر الشكل 29.7د). بدأ ت بعض العظام للتو بالتكلس وتظهر عضلات الهيكل العظمي انقبا ضات عفوية، على الرغم من أن هذه الانقباضات ضعيفة جدًا بحيث لا تشعر بها الأم. القلب، الذي ينبض منذ الأسبوع الرابع، يضخ الدم الآ ن. القلب والكبد كبيران جدًا ويشكلان النتوء البطني البارز الذي يُرى في الشكل 29.7ح. الرأس يشكل تقريبًا نصف طول الجسم الكلي. الح نين هو المرحلة النهائية من التطور قبل الولادة، من بداية الأسبوع ال تاسع حتى الولادة.
الأعضاء التي تشكلت خلال المرحلة الجنينية تخضع الآن للنمو والتما يز الخلوي، مكتسبة القدرة الوظيفية لدعم الحياة خارج الأم.

يُظهر الجهاز الدوري أكثر التغيرات التشريحية وضوحًا من الحالة قبل الولادة، التي تعتمد على المشيمة، إلى الحالة المستقلة لحديث ا لولادة (الشكل 29.10). الجوانب الفريدة للدورة الدموية الجنينية هي الدائرة الحبلية–المشيمية ووجود ثلاثة تحويلات دموية تُسمى *التحوي لات*. تنشأ الشرايين الحرقفية الداخلية من الشرايين الحبلية، التي تم ر على جانبي المثانة إلى الحبل السري. الدم في هذه الشرايين منخف ض الأكسجين وعالي ثاني أكسيد الكربون ونفايات الجنين الأخرى؛ لذ لك، يتم تصويرها باللون الأزرق في الشكل 29.10أ. يفرغ الدم الشريان ي نفاياته في المشيمة، ويحمل الأكسجين والمواد المغذية، ويعود إلى الجنين عن طريق وريد سري واحد، الذي يتجه نحو الكبد. يُصوّر الوريد السري باللون الأحمر بسبب دمه المؤكسج جيدًا. يمر بعض هذا الدم ا لوريدي عبر الكبد لتغذيته. ومع ذلك، فإن الكبد غير الناضج غير قادر بعد على أداء العديد من وظائفه بعد الولادة، لذلك لا يتطلب تدفق دم كبير قبل الولادة.لذلك، يتجاوز معظم الدم الوريدي الكبد عبر تحويلة تُسمى القناة الوريدية، التي تؤدي مباشرة إلى الوريد الأجوف السفلي.

في الوريد الأجوف السفلي، يختلط دم المشيمة مع الدم الوريدي من جسم الجنين ويتدفق إلى الأذين الأيمن للقلب. بعد الولادة، يضخ البطين الأيمن كل دمه إلى الرئتين، لكن لا حاجة كبيرة لذلك في الجني ن لأن الرئتين ليست وظيفية بعد. لذلك، يتجاوز معظم دم الجنين الد ورة الرئوية. يذهب بعض الدم مباشرة من الأذين الأيمن إلى الأيسر ع بر الثقب البيضاوي، وهو فتحة في الحاجز بين الأذينين. يذهب بع ض الدم أيضًا إلى البطين الأيمن ويُضخ إلى الجذع الرئوي، لكن معظم هذا يُوجه إلى الشريان الأورطي عن طريق تحويلة قصيرة تُسمى القناة الشريانية. يحدث هذا لأن حالة الرئتين المنهارة تخلق مقاومة وضغ ط دم مرتفع في الدورة الرئوية، لذلك يأخذ الدم في الجذع الرئوي مساراً ا أقل مقاومة—عبر القناة إلى الشريان الأورطي، حيث ضغط الدم أقل . تتلقى الرئتان فقط كمية قليلة من الدم من الدورة الرئوية؛ ويُحتمل أ ن يكون إمداد الدم النظامي من الشرايين القصبية أكثر أهمية لتطوره ما قبل الولادة. الدم



أ) الدورة الدموية الجنينية
1 يتجاوز الدم الرئتين بالتدفق مباشرة من الأذين الأيمن عبر الثقب البيضاوى إلى الأذين الأيسر.
2 كما يتجاوز الدم الرئتين بالتدفق من الجذع الرئوى عبر القناة الشريانية إلى الشريان الأورطى.
3 يتدفق الدم الفقير بالأكسجين والمحمّل بالنفايات عبر شرياني السُرّة إلى المشيمة.
4 تتخلص المشيمة من ثانى أكسيد الكربون CO_2 والنفايات الأخرى وتعيد أكسجة الدم.
5 يعود الدم المؤكسج إلى الجنين عبر وريد السُرّة.
6 يتجاوز دم المشيمة الكبد من خلال التدفق عبر القناة الوريدية (ductus venosus) إلى الوريد الأجوف السفلى (IVC).
7 يختلط دم المشيمة القادم من وريد السُرّة مع دم الجنين القادم من الوريد الأجوف السفلى ويعود إلى القلب.

ب) الدورة الدموية الوليدية
1 يغلق الثقب البيضاوى (Foramen ovale) ويصبح الحفرة البيضاوية (fossa ovalis).
2 ينقبض القناة الشريانية (Ductus arteriosus) وتصبح الرباط الشريانى (ligamentum arteriosum).
3 تتحلل شرايين السُرّة وتصبح الأربطة السُرّية الوسطى (median umbilical ligaments).
4 ينقبض وريد السُرّة ويصبح الرباط المستدير للكبد (round ligament of liver).
5 تتحلل القناة الوريدية (Ductus venosus) وتصبح الرباط الوريدى للكبد (ligamentum venosum of liver).
6 الدم العائد إلى القلب الآن فقير بالأكسجين، الدم الجهازى فقط.

الشكل 29.10 دورة الدم فى الجنين والمواليد الجدد. تشير المصطلحات المكتوبة بخط عريض فى الجزء (أ) إلى الثلاثة تحويلات فى الدورة الدموية الجنينية، والتى تسمح لمعظم الدم بتجاوز الكبد والرئتين. تشير المصطلحات المكتوبة بخط عريض فى الجزء (ب) إلى بقايا الهياكل الجنينية بعد الولادة.

الحاجز بين الأذينين)انظر الشكل 19.7(. فى حوالى 25% من الأشخاص، يبقى الثقب البيضاوى غير مغلق وتُثبت الصمامات فى مكانها فقط بواسطة الضغط الدموى العالى نسبيًا فى الأذين الأيسر. تؤدى التغيرات فى الضغط فى الجذع الرئوى والأبهر أيضًا إلى انغلاق القناة الشريانية. تغلق نهائيًا حوالى عمر 3 أشهر وتترك حبلًا دائمًا، وهو *الرباط الشريانى، بين الوعائين.*

بعد أن يتم تثبيت وقطع الحبل السرى، تنهار الشرايين والأوردة السُرية وتصبح ليفية. الجزء القريب من كل شريان سرى يصبح الشريان المثانى العلوى، الذى يبقى لتغذية المثانة. الأوعية المغلقة الأخرى تتحول إلى حبال أو أربطة ليفية: الأجزاء البعيدة من الشرايين السرية تصبح *الأربطة السُرية الوسطى* لجدار البطن؛ الوريد السرى يصبح *الرباط المستدير)ligamentum teres(* للكبد؛ والقناة الوريدية)وهى تحويلة سابقة حول الكبد(تصبح *الرباط الوريدى* على السطح السفلى للكبد)الشكل 29.10ب(.

التكيفات المناعية

تبدأ المناعة الخلوية فى الظهور مبكرًا فى تطور الجنين، لكن الاستجابات المناعية للمواليد الجدد لا تزال ضعيفة. لحسن الحظ، يولد الطفل بمستوى قريب من مستوى البالغين من الغلوبولين المناعى ج)IgG(الذى يكتسبه من الأم عبر المشيمة. يتحلل هذا الغلوبولين المناعى ج الأمومى بسرعة بعد الولادة، وينخفض إلى حوالى نصف المستوى الأولى فى الشهر الأول ويصل إلى ما يقرب من الصفر بحلول عمر 10 أشهر. ومع ذلك، تبقى مستويات الغلوبولين المناعى ج الأمومى مرتفعة بما يكفى لمدة 6 أشهر لحماية الطفل من الحصبة والدفتيريا وشلل الأطفال ومعظم الأمراض المعدية الأخرى)ولكن ليس السعال الديكى(. بحلول 6 أشهر، يصل مستوى الغلوبولين المناعى ج الخاص بالطفل إلى حوالى نصف المستوى النموذجى للبالغين. أدنى مستوى إجمالى)الأمومى + الطفل(من الغلوبولين المناعى ج يوجد حوالى عمر 5 إلى 6 أشهر، وتكون العدوى التنفسية شائعة بشكل خاص فى هذا العمر.
الغلوبولين المناعى أ)IgA(فى اللبأ يمنح أيضًا المولود الذى يرضع من الثدى حماية مناعية ضد التهاب المعدة والأمعاء.

تكيّفات أخرى

تنظيم الحرارة وتوازن السوائل هما أيضًا جانبان حاسمان فى فسيولوجيا حديثى الولادة. يمتلك الرضيع نسبة أكبر من مساحة سطح الجسم إلى الحجم مقارنةً بالبالغ، لذا يفقد الحرارة بسهولة أكبر. أحد دفاعاته ضد انخفاض حرارة الجسم هو الدهون البنية، وهى نسيج دهنى خاص يولد الحرارة يُترسب من الأسبوع 17 إلى 20 من تطور الجنين)انظر الأقسام 5.3c و 26.5c(. مع نمو الطفل، يزداد معدل الأيض لديه ويتراكم لديه المزيد من الدهون تحت الجلد، مما يؤدى إلى إنتاج واحتفاظ أكبر بالحرارة. ومع ذلك، فإن درجة حرارة الجسم تكون أكثر تقلبًا عند الرضع والأطفال مقارنةً بالبالغين.
الكليتان ليستا مكتملتا النمو عند الولادة ولا تستطيعان تركيز البول بنفس درجة الكلية الناضجة. ونتيجة لذلك، يعانى الرضع من معدل فقدان ماء مرتفع نسبيًا ويحتاجون إلى تناول المزيد من السوائل، نسبةً إلى وزن الجسم، مقارنةً بالبالغين.
بالإضافة إلى ذلك، لا يزال الكبد غير مكتمل الوظيفة عند الولادة، ومعظم المفاصل لم تتكلس بعد، ولم تكتمل تغليف الأعصاب)الميالين(فى الجهاز العصبى حتى سن المراهقة. فى الواقع، يولد الإنسان فى حالة غير ناضجة جدًا مقارنةً بالثدييات الأخرى — وهو أمر فرضه ضيق مخرج حوض الأنثى، الذى كان بدوره نتيجة لتطور المشى على قدمين)انظر التعمق 8.4(.

حديث الولادة **29.3**

نتائج التعلم المتوقعة

عندما تكمل هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. وصف كيف ولماذا يتغير الجهاز الدورى عند الولادة؛

ب. شرح سبب صعوبة أولى أنفاس الهواء نسبيًا لحديث الولادة؛

ج. وصف المشاكل الفسيولوجية الرئيسية للرضيع الخديج؛ و

د. يناقش بعض الأسباب الشائعة للتشوهات الخلقية.

الفترة التى تلى الولادة مباشرة هى أزمة يجب على المولود الجديد خلالها التكيف فجأة مع الحياة خارج جسم الأم. تمثل الساعات الست إلى الثمانى الأولى فترة انتقالية حيث تزداد معدلات ضربات القلب والتنفس وتنخفض درجة حرارة الجسم. ثم تنخفض النشاطات البدنية وينام الرضيع حوالى ثلاث ساعات. فى فترة نشاطه الثانية، غالبًا ما يختنق الرضيع بالمخاط والحطام فى البلعوم. ثم ينام مرة أخرى، ويصبح أكثر استقرارًا، ويبدأ دورة الاستيقاظ كل 3 إلى 4 ساعات للرضاعة. تشكل الأسابيع الأربعة الأولى من الحياة فترة حديثى الولادة ويُطلق على الرضيع فى هذه المرحلة اسم المولود الجديد.

29.3أ التكيف مع الحياة خارج الرحم

أكثر الأحداث إثارة وتشويقًا عند الولادة هو أن يبدأ المولود الجديد التنفس بمفرده. التنفس، بالطبع، لا فائدة منه ما لم يمر معظم أو كل الدم عبر الرئتين لتبادل الغازات هناك. حتى الولادة، كان معظم الدم يتجاوز الرئتين، لذا فإن بدء التنفس يستلزم أيضًا تغييرًا جذريًا فى دوران الدم. لذلك، تلعب الجهازان التنفسى والدورى دورًا بارزًا فى تكيفات المولود الجديد مع الحياة خارج الرحم، لكن أنظمة أخرى يجب أن تتكيف أيضًا مع هذا النمط الحياتى الجديد والتحدى.

التكيفات التنفسية

من المفاهيم الخاطئة القديمة أن المولود الجديد يجب أن يُصفع لتحفيزه على التنفس. أثناء الولادة، يتراكم CO_2 فى دم الرضيع ويحفز بقوة مستقبلات الكيمياء التنفسية.
ما لم يكن الرضيع مكتئبًا بسبب الإفراط فى تهدئة الأم، فإنه يبدأ عادة بالتنفس تلقائيًا. ومع ذلك، يتطلب الأمر جهدًا كبيرًا لأخذ الأنفاس القليلة الأولى وفتح الحويصلات الهوائية المنهارة. خلال الأسبوعين الأولين، يتنفس الرضيع حوالى 45 نفسًا فى الدقيقة، لكنه يستقر لاحقًا عند حوالى 12 نفسًا فى الدقيقة.

التكيفات الدموية

عندما تتمدد الرئتان بالهواء، تنخفض المقاومة وضغط الدم فى الدورة الرئوية بسرعة، وينخفض الضغط فى القلب الأيمن إلى ما دون الضغط فى الأيسر. يتدفق الدم لفترة وجيزة من الأذين الأيسر إلى الأيمن عبر الثقب البيضاوى)بعكس تدفقه قبل الولادة(ويدفع شفتين من النسيج لتغلق هذه الفتحة.
فى معظم الناس، تندمج هذه الشفتان وتغلق الثقب البيضاوى بشكل دائم خلال السنة الأولى، تاركةً انخفاضًا يُسمى *الحفرة البيضاوية،* فى



نظرة أعمق 29.3

التطبيق السريري

تقييم حديثي الولادة

يتم تقييم المولود الجديد فورًا من حيث المظهر العام، العلامات الحيوية (درجة الحرارة، النبض، ومعدل التنفس)، الوزن، الطول، ومحيط الرأس وأبعاد أخرى؛ ويتم فحصه للكشف عن الاضطرابات الخلقية مثل الفينيل كيتون يوريا (PKU). عند الدقيقة الأولى والخامسة بعد الولادة، يتم تسجيل معدل ضربات القلب، جهد التنفس، توتر العضلات، ردود الفعل، ولون الجلد ويتم منحها درجة 0 (*ضعيف*)، 1، أو 2 (ممتاز). المجموع الكلى (0–10)، المسمى *Apgar*[11] *score*، هو مؤشر جيد لبقاء الطفل على قيد الحياة.

قد يعانى الأطفال ذوو درجات Apgar المنخفضة من تلف عصبي ويحتاجون إلى رعاية فورية إذا كانوا سيبقون على قيد الحياة. تشير الدرجة المنخفضة عند الدقيقة الأولى إلى احتمال الاختناق وقد تتطلب التنفس الاصطناعى. أما الدرجة المنخفضة عند الدقيقة الخامسة فتشير إلى احتمال وفاة وشيكة.

29.3ب الأطفال الخدج

يُعتبر الأطفال الذين يولدون قبل بداية الأسبوع 37 بشكل عام خدجًا. لديهم صعوبات متعددة فى التنفس، وتنظيم الحرارة، والإخراج، والهضم، ووظائف الكبد. يبلغ متوسط وزن الأطفال حديثى الولادة المولودين فى الأسبوع 37 حوالى 2.6 كجم (5.8 رطل). معظم الأطفال حديثى الولادة الذين يزنون 1.5 إلى 2.5 كجم يكونون قابلين للحياة، ولكن بصعوبة. أما الذين يزنون أقل من 0.5 كجم نادرًا ما ينجون.

يتطور الجهاز التنفسى بشكل كافٍ بحلول الشهر السابع من الحمل لدعم الحياة المستقلة. الأطفال الذين يولدون قبل هذا الوقت يعانون من نقص فى مادة السورفاكتانت الرئوية (انظر القسم 22.1هـ فى "الحويصلات الهوائية"). يسبب هذا النقص متلازمة ضيق التنفس عند الأطفال حديثى الولادة (IRDS)، والمعروفة أيضًا باسم *مرض الغشاء الزجاجى*. تنهار الحويصلات الهوائية فى كل مرة يزفر فيها الطفل، ويتطلب الأمر جهدًا كبيرًا لإعادة نفخها. يصبح الطفل متعبًا جدًا بسبب الطلب العالى للطاقة فى التنفس. يمكن علاج IRDS عن طريق تهوية الرئتين بهواء غنى بالأكسجين تحت ضغط إيجابي للحفاظ على نفخ الرئتين بين الأنفاس، وإعطاء السورفاكتانت كاستنشاق. ومع ذلك، تظل IRDS السبب الأكثر شيوعًا لوفيات حديثى الولادة.

الطفل الخديج لديه منطقة تحت المهاد غير مكتملة التطور وبالتالى لا يستطيع تنظيم درجة حرارته بفعالية. يجب التحكم فى درجة حرارة الجسم بوضع الطفل فى جهاز تدفئة.

يصعب على الأطفال الخدج تناول الحليب بسبب صغر حجم معدتهم وضعف ردود فعل المص والبلع. يجب إطعام بعضهم عبر أنابيب أنفية معدية أو أنفية معوية. ومع ذلك، يمكن لمعظمهم تحمل حليب الإنسان أو الحليب الصناعى. يحتاج الأطفال الذين يقل وزنهم عن 1.5 كجم (3.3 رطل) إلى مكملات غذائية من الكالسيوم والفوسفور والبروتين.

الكبد أيضًا غير متطور جيدًا، ومع الأخذ فى الاعتبار وظائفه المتنوعة جدًا (انظر الجدول 26.6)، يمكنك فهم سبب وجود عدة عواقب خطيرة. يصنع الكبد غير الناضج كميات غير كافية من الألبومين، لذا يعانى الطفل من نقص البروتين فى الدم. هذا يخل بالتوازن بين ترشيح الشعيرات الدموية وإعادة الامتصاص ويؤدى إلى وذمة. ينزف الطفل بسهولة بسبب نقص عوامل التخثر التى يصنعها الكبد. وهذا صحيح إلى حد ما حتى فى الأطفال المولودين فى موعدهم، ومع ذلك، لأن أمعاء الطفل لم تستعمر بعد بالبكتيريا التى تصنع فيتامين ك، وهو ضرورى لتكوين عوامل التخثر. تُعطى حقن فيتامين ك الآن بشكل روتينى (ولكنها مثيرة للجدل إلى حد ما) للأطفال حديثى الولادة فى أمريكا الشمالية. اليرقان شائع عند حديثى الولادة، وخاصة الأطفال الخدج، لأن الكبد لا يستطيع التخلص من أصباغ الصفراء مثل البيليروبين بكفاءة. ومع ذلك، فإن مستوى البيليروبين المرتفع بشكل معتدل (فرط بيليروبين الدم الوليدي) أمر طبيعى ومرغوب فيه لدى جميع الأطفال. يلعب البيليروبين دورًا قيمًا كمضاد للأكسدة حتى يتمكن الطفل من تطوير أنظمة مضادات الأكسدة الأخرى.

29.3ح عيوب الولادة

عيب الولادة، أو الشذوذ الخلقى،[12] هو التركيب أو الوضع غير الطبيعى لعضو عند الولادة، ناتج عن خلل فى التطور قبل الولادة. دراسة عيوب الولادة تسمى علم التشوهات (التيراتولوجيا).[13] تُعد عيوب الولادة السبب الأكثر شيوعًا لوفيات الأطفال فى أمريكا الشمالية. ليست كل العيوب ملحوظة عند الولادة؛ فبعضها يُكتشف بعد أشهر إلى سنوات. وبالتالى، بحلول عمر سنتين، يتم تشخيص 6% من الأطفال بالشذوذات الخلقية، وبحلول عمر 5 سنوات ترتفع النسبة إلى 8% بسبب تلك التى ظهرت خلال هذه الفترة. تناقش الأقسام التالية بعض الأسباب المعروفة للشذوذات الخلقية، ولكن فى 50% إلى 60% من الحالات، السبب غير معروف.

العوامل المشوهة

المُشوِّهات الخَلْقية[14] هى عوامل تسبب تشوهات تشريحية فى الجنين. وتنقسم إلى ثلاث فئات رئيسية: الأدوية والمواد الكيميائية الأخرى، الأمراض المعدية، والإشعاع مثل الأشعة السينية. يعتمد تأثير المُشوِّه على القابلية الوراثية للجنين، وجرعة المُشوِّه، ووقت التعرض. عادةً لا يسبب التعرض للمُشوِّه خلال أول أسبوعين عيوبًا خلقية، وذلك أساسًا لأن الجنين المتأثر لا ينجو حتى الولادة؛ حيث يحدث الإجهاض فى معظم الحالات. يمكن للمُشوِّهات أن تُحدث تأثيرات مدمرة فى أى مرحلة من مراحل التطور، لكن فترة أكبر حساسية تكون من الأسبوع 3 إلى الأسبوع 8. لكل عضو فترات حرجة مختلفة.

على سبيل المثال، من المرجح أن تؤدى التشوهات فى الأطراف إلى التعرض للمُشوِّه فى الفترة من 24 إلى 36 يومًا، وتشوهات الدماغ من التعرض فى الفترة من 3 إلى 16 أسبوعًا.

ربما يكون الدواء المُشوِّه الأكثر شهرة هو الثاليدومايد، المُهدئ الذى تم تسويقه لأول مرة فى ألمانيا الغربية عام 1957. تم تناول الثاليدومايد من قبل العديد من النساء فى بداية الحمل لتخفيف غثيان الصباح، ومن قبل أخريات كمساعد للنوم حتى قبل أن يعرفن بأنهن حوامل. وبحلول الوقت الذى تم فيه سحب الدواء من السوق فى 1961، كان قد أثر على ما يُقدر بين 10,000 إلى 20,000 طفل حول العالم، العديد منهم وُلدوا بأذرع أو أرجل غير متكونة (الشكل 29.11) وغالبًا مع تشوهات فى الأذنين والقلب والأمعاء. إدارة الغذاء والدواء الأمريكية لم توافق أبدًا على تسويق الثاليدومايد، لكن العديد من النساء الأمريكيات حصلن عليه من مصادر أجنبية أو من خلال المشاركة فى تجارب دوائية سريرية. تم إعادة تقديم الثاليدومايد مؤخرًا واستخدامه تحت ظروف أكثر تحكمًا ولأغراض محدودة مثل علاج الجذام.

---

[11] فيرجينيا أبغار (1909–1974)، طبيبة تخدير أمريكية

[12] *con* = مع؛ *gen* = مولود؛ *a* = بدون؛ *nomaly* = انتظام، انتظامية

[13] *terato* = وحش؛ *logy* = دراسة

[14] *تيراتو* = وحش؛ جن = إنتاج

رؤوس صغيرة(تُنسب إلى فيروس زيكا المنقول بواسطة البعوض. ت
شمل العدوى البكتيرية الخلقية السيلان والزهرى. *توكسو-*
البلازما، وهو طفيلى أولى يُصاب به من اللحوم والحليب غير المبستر
والقطط المنزلية، هو سبب آخر لتشوهات الجنين. بعض هذه الممر
ضات لها تأثيرات خفيفة نسبيًا على البالغين، ولكن بسبب جهاز المنا
عة غير الناضج لدى الجنين، يكون عرضة لتأثيرات مدمرة مثل العمى،
استسقاء الرأس، الشلل الدماغى، النوبات، والتخلف الجسدى والعقل
ى الشديد. تُعالج هذه الأمراض بتفصيل أكبر فى كتب علم الأحياء الد
قيقة.

المواد المسببة للطفرات والشذوذات الجينية

العيوب الجينية هى السبب الأكثر شيوعًا المعروف للتشوهات الخلقي
ة، حيث تمثل حوالى ثلث جميع الحالات و85% من تلك التى يمكن
تحديد سببها. أحد أسباب العيوب الجينية هو الطفرات، أو التغيرات
فى بنية الحمض النووى. من بين اضطرابات أخرى، تسبب الطفرات ا
لقزامة العظمية)انظر التعمق 7.2(.



تعمق 29.4

التطبيق السريرى

الشفة الأرنبية والحنك المشقوق

الشفة الأرنبية والحنك المشقوق)CLP(هى واحدة من أكثر التشوهات الخلقية ش
يوعًا، حيث تحدث فى حالة أو حالتين من كل 1000 مولود حى. الحنك المشقوق)
palato-schizis, PAL-ah-to-SKIZ-is(ينتج عن فشل عظم الفك العلو
ى الجنينى فى الالتحام على الخط الوسيط، مما يترك شقًا وسطيًا فى سقف الفم
بين التجويف الفموى والأنفى)الشكل 29.12(. وغالبًا ما يصاحبه شق فى الشفة ا
لعليا) *cheiloschizis*, KY-lo-SKIZ-is(على جانب واحد أو كلا الجانبين. ى
جعل الحنك المشقوق من الصعب على الرضيع توليد الشفط اللازم للرضاعة، وقد
يصاحبه التهابات أذن متكررة، وتطور غير طبيعى للأسنان، وصعوبات فى السمع و
الكلام. فى السنوات الأخيرة، تم تحديد ما لا يقل عن 10 جينات على 8 كروموسوما
ت تسبب CLP، لكنه قد يكون له أيضًا أسباب بيئية مثل التبغ، والكحول، واستخد
ام الكورتيكوستيرويدات أثناء الحمل. يمكن تصحيح الشفة الأرنبية والحنك المشقو
ق بواسطة جراحة الوجه والفكين مع نتائج تجميلية جيدة، ولكن قد يتطلب الأمر م
تابعة علاج النطق وجراحة الأسنان، مما يضع عبئًا طويل الأمد على المرضى والأسر
.يمكن أن يؤدى التصحيح بحلول عمر 18 شهرًا إلى تحسين اكتساب اللغة وتجنب
المشاكل النفسية والاجتماعية التى يواجهها غالبًا الأطفال فى سن المدرسة المصا
بون بـ CLP.



الشكل 29.12 رضيع يعانى من شفة أرنبية وحنك مشقوق.)أ(شفة أرنبية.
)ب(الحنك والشفة المشقوقان. لاحظ الشق بين التجويف الفموى والأنفى، ا
لذى يسبب مشاكل للرضع فى الرضاعة والبلع.



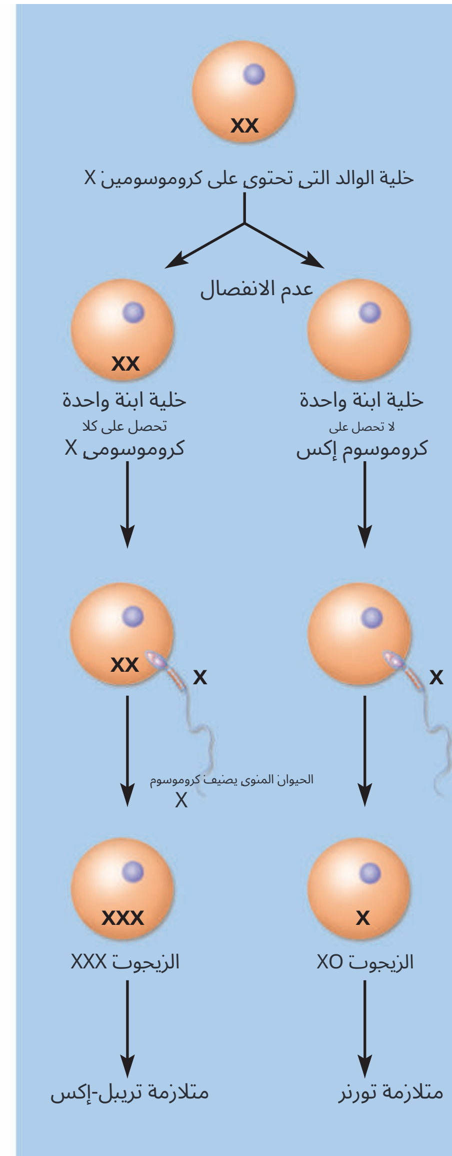
الشكل 29.11 صبى فى المدرسة يظهر تأثير الثاليدومايد على تطور الطرف
العلوى.

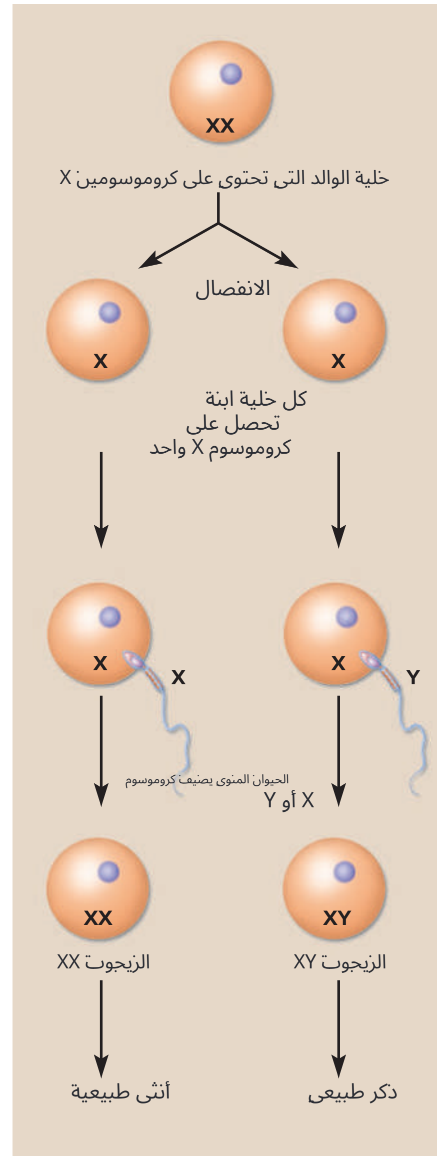
صور تايم آند لايف / جيتى إيماجز

لا يزال الناس فى بعض دول العالم الثالث يتناولونه فى محاولة خاطئ
ة لعلاج الإيدز وأمراض أخرى، مما يؤدى إلى زيادة فى العيوب الخلقية
الشديدة. الدرس العام المستفاد من مأساة الثاليدومايد وحالات أخرى
هو أن على النساء الحوامل تجنب جميع المهدئات والباربيتورات والأ
فيونات. حتى دواء حب الشباب إيزوتريتينوين)أكيوتان(تسبب فى ع
يوب خلقية شديدة. العديد من العوامل المسببة للتشوهات تُنتج تأثير
ات أقل وضوحًا أو متأخرة، بما فى ذلك الإعاقات الجسدية أو العقلية،
وقلة الانتباه، وفرط التهيج، والسكتات الدماغية، والنوبات، وتوقف ال
تنفس، وموت الرضع المفاجئ، والسرطان.
يسبب الكحول المزيد من العيوب الخلقية أكثر من أى دواء آخر.
يمكن للمرأة الحامل التى تتناول حتى مشروبًا واحدًا فى اليوم أن تؤثر
بشكل ملحوظ على تطور الجنين والطفل، مع بعض التأثيرات التى لا
تُلاحظ حتى يبدأ الطفل المدرسة. يمكن أن يسبب تعاطى الكحول أثنا
ء الحمل متلازمة الكحول الجنينية)FAS(، التى تتميز برأس صغير، وم
لامح وجه مشوهة، وعيوب فى القلب والجهاز العصبى المركزى، وتوق
ف النمو، وعلامات سلوكية مثل فرط النشاط، والعصبية، وضعف ال
تركيز. كما يساهم تدخين السجائر فى وفيات الأجنة والرضع، والحمل
خارج الرحم، وعدم تكون الدماغ)فشل تطور المخ(، وتشوهات القلب،
والشفة الأرنبية والحنك المشقوق)انظر التعمق 29.4(.

يجب تجنب الأشعة السينية التشخيصية أثناء الحمل لأن
الإشعاع يمكن أن يكون له تأثيرات مَشوِّهَة للأجنة.

الأمراض المعدية تقع إلى حد كبير خارج نطاق هذا الكتاب،
ولكن يجب الإشارة على الأقل بإيجاز إلى أن عدة كائنات دقيقة
يمكنها عبور المشيمة والتسبب فى تشوهات خلقية خطيرة،
وفاة الجنين داخل الرحم، أو وفاة حديثى الولادة. تشمل العدوى الفيروسية الشائعة للجنين
وحديثى الولادة فيروس الهربس البسيط، الحصبة الألمانية، الفيروس المضخم للخلايا،
وفيروس نقص المناعة البشرية)HIV(. وُلد العديد من الأطفال فى عام 2016، خاصة فى البرازيل،
مع*صغر الرأس*)صغر حجم الرأس بشكل غير طبيعى(





)ب(عدم انفصال كروموسومات X **)أ(الانفصال الطبيعى لكروموسومات X**

الشكل 29.13 الانفصال والانفصال غير الطبيعى.)أ(نتيجة الانفصال الطبيعى والتخصيب بواسطة الحيوانات المنوية الحاملة للكروموسوم X أو Y.)ب(اثنان من النتائج المحتملة للانفصال غير الطبيعى يليه تخصيب بحيوان منوى يحمل الكروموسوم X.

فى النصف الأيمن من الشكل، ما هما النتيجتان إذا كان الحيوان المنوى يحمل كروموسوم Y بدلاً من X؟

الشفة الأرنبية والحنك المشقوق، صغر الرأس، الو
لادة الميتة، وسرطان الطفولة. يمكن أن تحدث الط
فرات من خلال أخطاء فى تكرار الحمض النووى أثنا
ء دورة الخلية أو تحت تأثير عوامل بيئية تُسمى المُ
طفِّرات، بما فى ذلك بعض المواد الكيميائية والفير
وسات والإشعاع.

بعض أكثر الاضطرابات الوراثية شيوعًا لا تنتج
عن المُطفِّرات، بل عن فشل الكروموسومات المتم
اثلة فى الانفصال أثناء الانقسام الاختزالى. تذكر أن ا
لكروموسومات المتماثلة تتزاوج خلال الطور التمه
يدى الأول وعادةً ما تنفصل عن بعضها فى الطور ا
لانفصالى الأول)انظر القسم 27.4(.
هذا الانفصال، المسمى *الانفصال*، ينتج خلايا ابنة
تحتوى كل منها على 23 كروموسومًا.

فى حالة عدم الانفصال، تفشل زوج من الكرومو
سومات فى الانفصال. تذهب الكروموسومات كلها إل
ى نفس الخلية الابنة، التى تستلم 24 كروموسومًا بينم
ا تستلم الخلية الأخرى 22. العدد غير الصحيح للكرومو
سومات)Aneuploidy(، وهو وجود كروموسوم إضاف
ى أو نقص فى واحد، هو السبب الأكثر شيوعًا للإجها
ضات، حيث يشكل حوالى 50% من الحالات. نقص
كروموسوم، مما يترك كروموسومًا واحدًا بدون نظير،
يسمى الوحيدة الصبغة)monosomy(، فى حين أن
وجود كروموسوم إضافى، مما ينتج مجموعة ثلاثية، ى
سمى الثلاثية الصبغة)trisomy(. يمكن الكشف عن
العدد غير الصحيح للكروموسومات قبل الولادة عن طر
يق بزل السلى)amniocentesis(، وهو فحص خلايا م
ن عينة السائل الأمنيوسى، أو عن طريق أخذ عينات م
ن الزغابات المشيمية)CVS(، وهو خزعة خلايا من الم
شيمة.

الشكل 29.13 يقارن الانفصال الطبيعى لكروم
وسومات X مع بعض تأثيرات عدم الانفصال. فى
حالة عدم الانفصال، قد تستلم البويضة كلا كرومو
سمى X. إذا تم تخصيبها بحيوان منوى يحمل X،
تكون النتيجة زيجوت XXX ومجموعة من التشوها
ت تسمى متلازمة الثلاثية X (triplo-X syndrom
e). بعض الإناث الثلاثيات X يعانين من العقم، أو
ضعف إدراكى خفيف، أو كلاهما. إذا تم تخصيب
بويضة XX بحيوان منوى يحمل Y، تكون النتيجة تر
كيبة XXY و
متلازمة كلاينفلتر[16]. الأشخاص المصابون بمتلازمة
كلاينفلتر هم ذكور عقيمة، عادةً بذكاء متوسط، لكن
لديهم خصى غير متطورة، شعر جسم خفيف، أطرا
ف طويلة بشكل غير عادى، وثديين متضخمين)
تثدى الرجال)gynecomastia([17]. غالبًا ما لا يتم اكتشاف هذه المتلا
زمة حتى سن البلوغ، عندما يؤدى فشل تطور الصفات الجنسية الثانو
ية إلى إجراء اختبار جينى.

النتيجة الأخرى المحتملة لعدم انفصال كروموسوم X هى أن البو
يضة قد لا تستلم أى كروموسوم X)يتم التخلص من كلا كروموسمى X
فى الجسم القطبى الأول(. إذا تم تخصيبها بحيوان منوى يحمل Y، تم
وت بسبب نقص الجينات الضرورية على كروموسوم X. ومع ذلك، إذا
تم تخصيبها بحيوان منوى يحمل X، تكون النتيجة

هى أنثى تعانى من متلازمة تورنر[18] ، مع تركيبة XO
)يمثل الحرف O غياب أحد الكروموسومات الجنسية(. حوالى 97%
من الأجنة المصابين بمتلازمة تورنر يموتون قبل الولادة. الناجون لا يظهرون
إعاقات خطيرة كأطفال، لكنهم يميلون إلى وجود رقبة مشدودة
وحلمات متباعدة على نطاق واسع. عند البلوغ، تفشل الخصائص الجنسية الثانوية
فى التطور)الشكل 29.14(. المبايض تكون
شبه غائبة، تبقى الفتاة عقيمة، وعادة ما تكون
قصيرة القامة.

[15] *an* = لا، بدون؛ *eu* = صحيح، طبيعى؛ *ploid,* من *diplo* = مزدوج، مزدوج الزوج

[16] هارى ف. كلاينفلتر الابن)1912–90(، طبيب أمريكى

[17] *gyneco* = أنثى؛ *mast* = ثدى؛ *ia* = حالة

[18] هنرى هـ. تورنر)1892–1970(، طبيب الغدد الصماء الأمريكى

تتضمن علامات متلازمة داون ضعفًا فى التطور العقلى والجسدى؛ قامة قصيرة؛ وجه مسطح نسبيًا مع جسر أنفى مسطح؛ آذان منخفضة؛ طيات إبكانثال عند الزوايا الداخلية للعينين؛ لسان متضخم بارز؛ أصابع قصيرة؛ ويد قصيرة وعريضة مع طية كف واحدة فقط (الشكل 29.15).

يميل الأشخاص المصابون بمتلازمة داون إلى امتلاك شخصيات منفتحة وعاطفية. الضعف الإدراكى شائع وأحيانًا شديد، لكنه لا يحدث دائمًا.

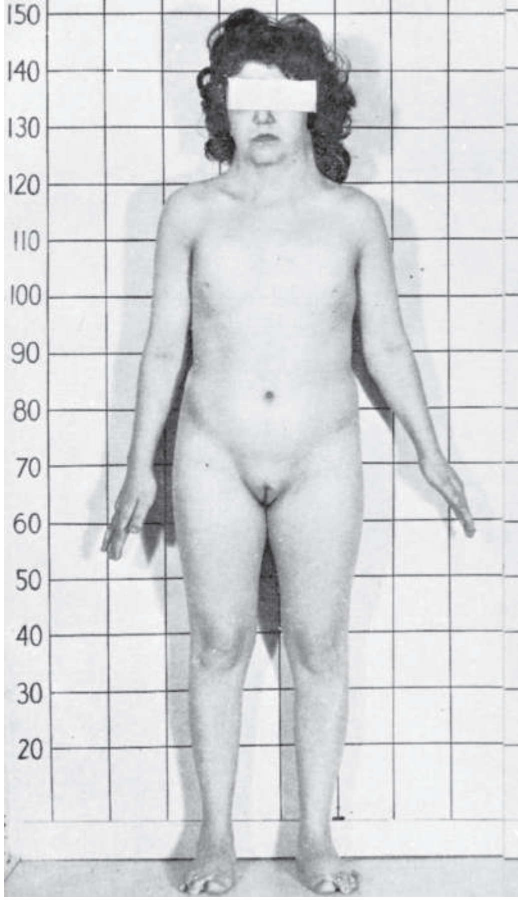
يموت حوالى 75% من الأجنة المصابين بتريزومى-21 قبل الولادة، ويموت 20% من الأطفال المولودين بهذه الحالة قبل سن العاشرة بسبب أسباب مثل نقص المناعة وتشوهات القلب أو الكلى. بالنسبة لأولئك الذين ينجون بعد هذا العمر، فقد مدد الرعاية الطبية الحديثة متوسط العمر المتوقع إلى الستينيات. ومع ذلك، بعد سن الأربعين، يصاب حوالى 75% من هؤلاء الأشخاص بمرض الزهايمر المبكر المرتبط بجين على الكروموسوم 21.

اللازوجية (Aneuploidy) أكثر شيوعًا بكثير فى البشر مقارنة بأى نوع آخر، وتشكل الحالات ذات الأصل الأمومى 90% من الحالات بدلاً من الأصل الأبوى. يبدو أن هذه الحقائق ناتجة عن الوقت الطويل للغاية الذى تستغرقه البويضات البشرية لإكمال الانقسام الاختزالى، والذى قد يصل إلى 50 عامًا. لأسباب مختلفة، بما فى ذلك العيوب فى المغزل الانقسامى وفى عبور الكروموسومات، تصبح البويضات المتقدمة فى العمر أقل قدرة على فصل كروموسوماتها إلى مجموعتين متطابقتين. ويتضح ذلك فى إحصائيات متلازمة داون: فرصة إنجاب طفل مصاب بمتلازمة داون تبلغ حوالى 1 من 3000 للمرأة تحت سن 30، و1 من 365 عند سن 35، و1 من 9 عند سن 48.

قبل أن تتابع

أجب أو أكمل ما يلى لاختبار فهمك للقسم السابق.

10. كيف يؤثر انتفاخ الرئتين عند الولادة على مسار تدفق الدم عبر القلب؟
11. لماذا يُعد متلازمة الضائقة التنفسية شائعة بين الأطفال الخدج؟
12. عرف عدم الانفصال وشرح كيف يسبب اللانمطية الصبغية. اذكر متلازمتين ناتجتين عن اللانمطية الصبغية.



الشكل 29.14 متلازمة تيرنر. امرأة تبلغ من العمر 22 عامًا تعانى من متلازمة تيرنر، مع كاريوتايب XO (انظر الشكل 29.13، أقصى اليمين). لاحظ قصر قامتها (حوالى 145 سم، أو 4 أقدام و9 إنشات)، وعدم تطور الأعضاء الجنسية، والرقبة المشبكة، والحلمات المتباعدة على نطاق واسع.

من تصوير ميهالى بارتالوس

الأزواج الأخرى الـ 22 من الكروموسومات (الكروموسومات الجسدية) تخضع أيضًا لعدم الانفصال. فقط ثلاث ثلاثيات صبغية جسدية قابلة للبقاء: تلك التى تشمل الكروموسومات 13 و18 و21. السبب هو أن هذه الكروموسومات الثلاثة فقيرة نسبيًا فى الجينات. فى جميع الحالات الأخرى على الكروموسومات الجسدية، يؤدى وجود ثلاث نسخ (تريزومى) إلى "جرعة زائدة" قاتلة من الجينات للجنين. حتى التريزوميات غير القاتلة تُعد السبب الوراثى الرئيسى للإعاقات الذهنية والتطورية.

يؤدى عدم انفصال الكروموسومات 13 و18 إلى متلازمة باتاو (تريزومى-13) ومتلازمة إدواردز (تريزومى-18) على التوالى. عادةً ما تنتهى هذه المتلازمات بالوفاة قبل الولادة. يبلغ متوسط بقاء الأطفال المولودين أحياء من 12 إلى 15 يومًا فقط وغالبًا ما يكونون مشوهين بشدة. يعيش بعضهم لأكثر من عام، لكنهم عادةً ما يعانون من نوبات صرع وإعاقات ذهنية شديدة.

أكثر التريزوميات قابلية للبقاء، وبالتالى الأكثر شيوعًا بين الأطفال والبالغين، هى متلازمة داون (تريزومى-21).

تحدث متلازمة داون فى حوالى حالة واحدة من كل 700 إلى 800 ولادة حية فى الولايات المتحدة. تشمل علاماتها ضعف النمو الجسدى و

[91] جون لانجدون هـ. داون (١٨٢٨–١٨٩٦)، طبيب بريطانى

29.4 الشيخوخة والهرم

نتائج التعلم المتوقعة

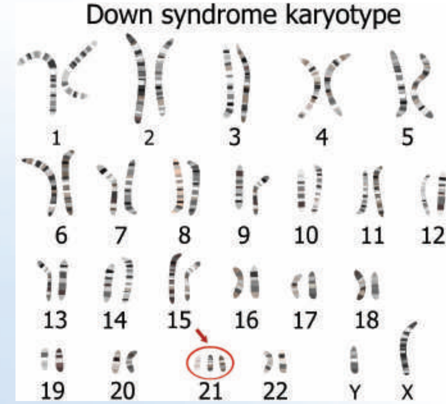
عندما تكمل هذا القسم، يجب أن تكون قادرًا على

أ. تعريف الشيخوخة والتمييز بينها وبين التقدم فى العمر؛
ب. وصف بعض التغيرات الرئيسية التى تحدث مع التقدم فى العمر فى كل جهاز من أجهزة الجسم؛
ج. تلخيص بعض النظريات الحالية للشيخوخة؛ و
د. القدرة على شرح كيف يمكن للتمارين والعوامل الأخرى إبطاء معدل الشيخوخة.

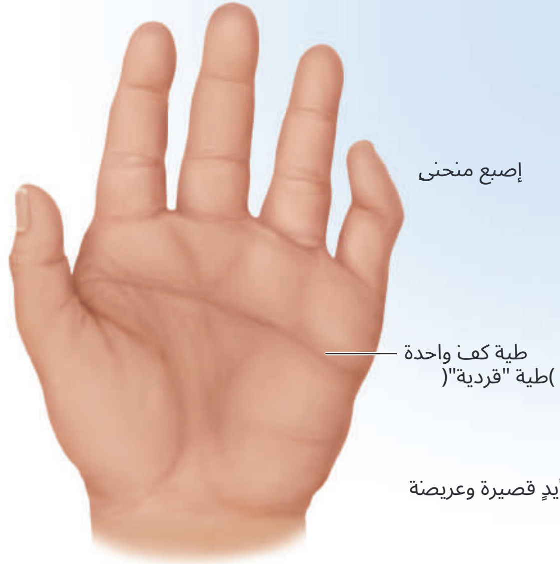
مثل بونس دى ليون الذى كان يبحث عن ينبوع الشباب الأسطورى فى فلوريدا، يتوق الناس إلى طريقة للحفاظ على مظهرهم الشبابى وحيويتهم. ومع ذلك، فإن ما يهمنا حقًا ليس التقدم فى العمر بل الشيخوخة. يُستخدم مصطلح التقدم فى العمر بطرق مختلفة لكنه يُقصد به هنا جميع التغيرات التى تحدث فى الجسم مع مرور الزمن—بما فى ذلك النمو والتطور وزيادة



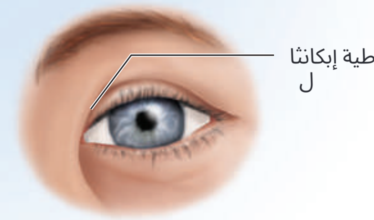
)أ(



)ب(



)ح(



)د(

الشكل 29.15 متلازمة داون.)أ(طفل مصاب بمتلازمة داون)فى الوسط(وأخواته غير المصابات بالتثلث الصبغى.)ب(الكاريوتايب)مخطط الكروموسوما ت(لرجل مصاب بمتلازمة داون، يظهر التثلث الصبغى للكروموسوم 21)البيضاوى مع السهم(.)ح(خصائص اليد فى متلازمة داون.)د(الطية الإبكانية فوق الو صل الوسيط)الكانثوس(للعين اليسرى.

ما كان جنس الشخص الذى تم الحصول على الكاريوتايب فى الجزء)ب(منه؟

أ: دينيس كوفاييف/صورة آلامى؛ ب: زوزانا إيجيرتوفا/صورة آلامى

، فى حين أن الأسباب الرئيسية للوفاة بعد سن 55 ترتبط بوضوح بش يخوخة أجهزة الجسم: بترتيب تنازلى، أمراض القلب، السرطان، السك تة الدماغية، السكرى، مرض الانسداد الرئوى المزمن)COPD(، وأمرا ض الرئة المعدية)الالتهاب الرئوى والإنفلونزا(.)فى وقت كتابة هذا ال نص، تجاوز COVID-19 جميع هذه الأسباب ليصبح السبب الرئيسى للوفاة فى الولايات المتحدة وأمريكا اللاتينية وأوروبا الغربية.(ومع ذلك ، تظل أسباب الشيخوخة لغزًا علميًا كما كان السرطان قبل 50 عامًا وا لوراثة قبل 100 عام.

عند استعراض شيخوخة أجهزة الجسم، يجب أن تلاحظ العديد م ن النقاط ذات الصلة ليس فقط برعاية السكان المتقدمين فى العمر و لكن أيضًا بالممارسات الشخصية للصحة واللياقة التى يمكن أن تقلل من آثار الشيخوخة وتحسن جودة الحياة فى سنواتك اللاحقة. بالإضافة إلى ذلك، يتطلب دراسة الشيخوخة اهتمامًا متجددًا بالتفاعلات الم تعددة بين أجهزة الجسم.

كما سترى، فإن شيخوخة جهاز واحد عادةً

الكفاءة الوظيفية التى تحدث من الطفولة إلى البلوغ، وكذلك التغيرات التنكسية التى تحدث فى وقت لاحق من الحياة. الشيخوخة- الشيخوخة هى التحلل الذى يحدث فى نظام عضوى بعد مرحلة ذروة ا لكفاءة الوظيفية له. وتشمل فقدانًا تدريجيًا للقدرات الاحتياطية، وانخ فاض القدرة على إصلاح الضرر والتعويض عن الإجهاد، وزيادة القابلية للإصابة بالأمراض.

الشيخوخة ليست مجرد مسألة شخصية بل هى قضية مهمة لم قدمى الرعاية الصحية. فى أوائل القرن العشرين، كان معظم الأمريكى ين يموتون قبل سن 65، غالبًا بسبب الأمراض المعدية.

الآن، حوالى ثلاثة أرباع الوفيات فى الولايات المتحدة تحدث فى سن 65 وما فوق، وواحد من كل سبعة أمريكيين يعيشون فى هذه الفئة ا لعمرية. مع ارتفاع متوسط عمر السكان، يجد المتخصصون فى الرعاية الصحية أنفسهم مشغولين بشكل متزايد بالوقاية وعلاج أمراض الش يخوخة. تتغير الأسباب الرئيسية للوفاة بشكل ملحوظ مع التقدم فى ا لعمر. الحوادث، والقتل، والانتحار، والإيدز تلعب دورًا بارزًا فى وفيات ا لأشخاص الذين تتراوح أعمارهم بين 18 و34 سنة

الذين يعانون من مزيج من انخفاض التوازن الداخلى وسوء السكن.

كل هذه التغيرات هى تغييرات "طبيعية" فى الجلد، أو الشيخوخ ة الجوهرية — تغييرات تحدث بشكل أو بآخر حتمى مع مرور الوقت. بالإضافة إلى ذلك، هناك الشيخوخة الضوئية — تغييرات تنكسية تـ تناسب مع تعرض الشخص للأشعة فوق البنفسجية طوال حياته. تشكل الأشعة فوق البنفسجية أكثر من 90% من التغيرات الجلدية ال تى يجدها الناس مزعجة طبيًا أو غير مقبولة تجميليًا: سرطان الجلد؛ ا صفرار وتبقع الجلد؛ بقع الشيخوخة *)النمش الشمسى(*len-TIJ-ih-n eez)، التى تشبه النمش الموسع على ظهر اليد والمنا طق الأخرى المعرضة للشمس؛ والتجاعيد التى تؤثر على الوجه واليدى ن والذراعين أكثر من المناطق الأخرى من الجسم التى تتعرض لأشعة أقل. يمكن لنمط الحياة فى الهواء الطلق طوال العمر أن يمنح الجلد م ظهرًا جلديًا متصلبًا وعميق التجاعيد، "مظهرًا خارجيًا")الشكل 29.16 ،(ولكن تحت هذا المظهر الخشن يوجد مظهر نسيجى أقل مرغوبية. يظهر الجلد المتضرر من الشمس العديد من الخلايا الخبيثة وما قبل ا لخبيثة، وأضرارًا واسعة فى الأوعية الدموية الجلدية، وكتلًا كثيفة من ا لألياف المرنة الخشنة والممزقة تحت التجاعيد والطيّات السطحية.



الشكل 29.16 شيخوخة الجلد. يظهر الجلد كلًا من الشيخوخة الجوهرية وال شيخوخة الضوئية. التجاعيد العميقة التى تُرى فى وجه المرأة المسنة ناتجة بشكل رئيسى عن الشيخوخة الضوئية.

)طفل صغير(: ستيفن فلينت/صور آلامى؛)شخص مسن(: مارك جيرفان بورتريه/صور آلامى

يساهم فى شيخوخة الآخرين. دراستك لهذا الموضوع ستجمع العديد من المفاهيم التى تم تقديمها فى الفصول السابقة من الكتاب. قد تج د القاموس المصطلحى مفيدًا فى تجديد ذاكرتك بالمفاهيم التى ست تم مناقشتها لاحقًا.

29.4أ شيخوخة أنظمة الأعضاء

لا تتدهور أنظمة الأعضاء جميعها بنفس المعدل. على سبيل المثال، م ن عمر 30 إلى 80، ينخفض سرعة توصيل الأعصاب بنسبة 10% إلى 15% فقط، لكن عدد الكبيبات الوظيفية فى الكلى ينخفض بحوالى 6 0%. بعض الوظائف الفسيولوجية تظهر تغييرات معتدلة فقط فى حا لة الراحة ولكن فروقًا أكثر وضوحًا عند الاختبار تحت ظروف التمرين. كما تختلف أنظمة الأعضاء بشكل كبير فى العمر الذى تصبح فيه الش يخوخة ملحوظة. هناك مؤشرات مبكرة لتصلب الشرايين، على سبيل المثال، حتى عند الرضع؛ تبدأ الحساسيات البصرية والسمعية فى الان خفاض بعد فترة البلوغ مباشرة. بالمقابل، لا يظهر الجهاز التناسلى الأ نثوى شيخوخة ملحوظة حتى سن انقطاع الطمث ثم ينخفض فجأة. باستثناء هذه الأمثلة غير العادية، تصل معظم المقاييس الفسيولوجية للأداء إلى ذروتها بين أواخر سن المراهقة وعمر 30، ثم تنخفض بمعد ل يتأثر بمستوى استخدام الأعضاء.

الجهاز الجلدى

ثلثا الأشخاص الذين تزيد أعمارهم عن 50 عامًا، ومعظم الأشخاص الذ ين تزيد أعمارهم عن 70 عامًا، لديهم مخاوف أو شكاوى طبية تتعلق بالجلد. غالبًا ما تصبح شيخوخة الجهاز الجلدى ملحوظة بحلول أواخر ا لأربعينيات. يتحول الشعر إلى اللون الرمادى ويصبح أرق مع موت الخ لايا الصباغية، ويتباطأ الانقسام الخلوى، ولا يتم استبدال الشعر المى ت. يؤدى ضمور الغدد الدهنية إلى جفاف الجلد والشعر. مع انخفاض ا لانقسام الخلوى فى البشرة وفقدان الكولاجين من الأدمة، يصبح الجلد رقيقًا جدًا وشفافًا تقريبًا. يصبح أكثر ارتخاءً بسبب فقدان الألياف المر نة وتسطيح الحليمات الجلدية، التى تشكل عادةً حدًا مضلعًا مقاومًا ل لإجهاد بين الأدمة والبشرة. إذا قرصت طية من الجلد على ظهر يد ط فل، فإنها تعود بسرعة عند الإفراج عنها؛ افعل نفس الشيء على شخ ص مسن وستبقى طية الجلد لفترة أطول.

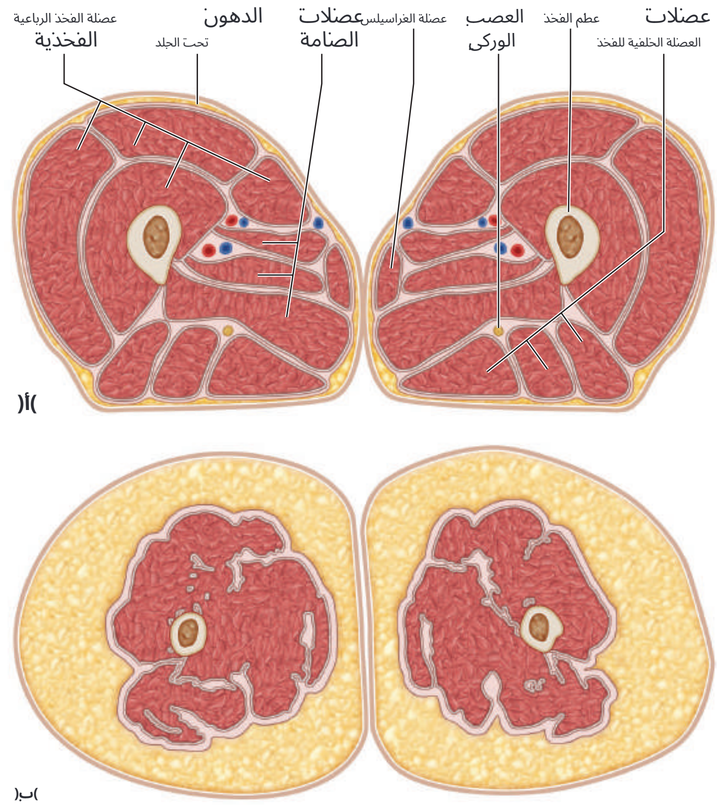
بسبب فقدانها للمرونة، يترهل الجلد المتقدم فى العمر بدرجات مختلفة وقد يتدلى بشكل فضفاض من الذراع وأماكن أخرى. تحتوى البشرة المتقدمة فى العمر على عدد أقل من الأوعية الدموية مقار نة بالبشرة الشابة، وتكون تلك الأوعية المتبقية أكثر هشاشة. يمكن أن تصبح ا لبشرة محمرة نتيجة تسرب الأوعية الدموية المكسورة إلى النسيج الضام. يظهر العديد من كبار السن مرض الوردية — شبكات متقطعة من الأوعية الدموية ال صغيرة المتوسعة التى تكون مرئية خاصة على الأنف والخدين. وبسبب هشاشة الأوعية الدموية الجلدية، تتكدم البشرة المتقدمة فى العمر بسهولة أكبر. تكون ا لإصابات الجلدية أكثر شيوعًا وخطورة فى الشيخوخة، ويرجع ذلك جزئيًا إلى انخ فاض نهايات الأعصاب الجلدية بنسبة ثلثيها من عمر 20 إلى عمر 80، مما يجع ل الشخص أقل وعيًا باللمس والضغط والمنبهات الضارة.
تلتئم البشرة المصابة ببطء فى الشيخوخة بسبب ضعف الدورة الدمو ية وقلة نسبية فى الخلايا المناعية والخلايا الليفية. تنخفض خلايا التغ صن المقدمة للمستضدات بنسبة تصل إلى 40% فى البشرة المتقدم ة فى العمر، مما يجعل الجلد أكثر عرضة للعدوى المتكررة.
يمكن أن تكون تنظيم حرارة الجسم مشكلة خطيرة فى الشيخوخة بسبب ضمور الأوعية الدموية الجلدية، والغدد العرقية، والدهون تح ت الجلد. يكون كبار السن أكثر عرضة لانخفاض حرارة الجسم فى الط قس البارد وضربة الشمس فى الطقس الحار. تؤدى موجات الحر وال برد إلى تأثير غير متناسب بين الأفراد المسنين الفقراء

تحتوى العضلات المسنة على كمية أقل من ATP، فوسفات الكرياتين، الجليكوجين، والميوغلوبين؛ ونتيجة لذلك، تتعب بسرعة. كما تظهر العضلات المزيد من الدهون والتليف مع التقدم فى العمر، مما يحد من حركتها ودوران الدم. مع انخفاض الدورة الدموية، تلتئم إصابات العضلات ببطء أكبر ومع المزيد من نسيج الندبة.

لكن ضعف العضلات وسرعة تعبها فى الشيخوخة تنبع أيضًا من شيخوخة أنظمة الأعضاء الأخرى. هناك عدد أقل من الخلايا العصبية الحركية فى الحبل الشوكى، وقد يمثل بعض ضمور العضلات الناتج عن فقدان التعصيب. تنتج الخلايا العصبية المتبقية كمية أقل من الأستيل كولين وتظهر نقلًا مشبكيًا أقل كفاءة، مما يجعل العضلات أبطأ فى الاستجابة للتحفيز. مع ضمور العضلات، تحتوى الوحدات الحركية على ألياف عضلية أقل لكل خلية عصبية حركية، ويجب استدعاء المزيد من الوحدات الحركية لأداء مهمة معينة. المهام التى كانت سهلة سابقًا، مثل ربط الأزرار أو تناول الطعام، تستغرق الآن وقتًا وجهدًا أكبر. كما أن الجهاز العصبى الودى أقل كفاءة فى الشيخوخة؛ ونتيجة لذلك، لا يستجيب تدفق الدم إلى العضلات بشكل فعال أثناء التمرين، مما يساهم فى تعبها السريع.

الجهاز العصبى

يصل الجهاز العصبى إلى ذروة تطوره حوالى سن الثلاثين.
بعد سن الأربعين، يفقد الدماغ حوالى ٥٪ من كتلته كل ١٠ سنوات، وقد يكون ذلك أسرع بعد سن السبعين. التلافيف الدماغية تصبح أضيق،



الشكل 29.17 شيخوخة العضلات وطرق الوقاية منها.
رسومات مستندة إلى فحوصات التصوير بالرنين المغناطيسى لمقاطع عرضية للفخذين. (أ) فخذا رياضى ثلاثى الألعاب يبلغ من العمر 74 عامًا، تُظهر مدى قدرة كتلة العضلات على الحفاظ عليها فى سن الشيخوخة مع ممارسة التمارين الرياضية. (ب) فخذا شخص يبلغ من العمر 74 عامًا ويعيش حياة خاملة، تُظهر ضمورًا واسعًا فى العضلات واستبدالها بالدهون تحت الجلد.

لشيخوخة الجلد تأثيرات بعيدة المدى على أنظمة الأعضاء الأخرى. ينخفض إنتاج فيتامين د الجلدى بنسبة تصل إلى 75% فى سن الشيخوخة. وهذا أمر أكثر أهمية لأن كبار السن يقضون وقتًا أقل فى الهواء الطلق؛ وبسبب زيادة عدم تحمل اللاكتوز، غالبًا ما يتجنبون منتجات الألبان، وهى المصدر الغذائى الوحيد لفيتامين د. ونتيجة لذلك، يكون كبار السن معرضين بشدة لخطر نقص الكالسيوم، مما يساهم بدوره فى فقدان العظام وضعف العضلات وضعف إفراز الغدد والانتقال المشبكى.

الجهاز الهيكلى

بعد سن الثلاثين، تصبح خلايا بناء العظام (الأوستيو بلاستات) أقل نشاطًا من خلايا تكسير العظام (الأوستيوكلاستات). يؤدى هذا الخلل إلى نقص العظام، وهو فقدان العظام؛ وعندما يكون الفقدان شديدًا بما يكفى ليؤثر على النشاط البدنى والصحة، يُسمى *هشاشة العظام* (انظر التعمق 7.4). بعد سن الأربعين، تفقد النساء حوالى 8% من كتلة عظامهن كل عقد، والرجال حوالى 3%. ويُعد فقدان العظام من الفك عاملاً مساهمًا فى فقدان الأسنان.

لا تنخفض كثافة العظام مع التقدم فى العمر فحسب، بل تصبح العظام أكثر هشاشة مع انخفاض إنتاج الخلايا للبروتين. تحدث الكسور بسهولة أكبر وتلتئم ببطء أكبر. قد يفرض الكسر فترة طويلة من عدم الحركة، مما يجعل الشخص أكثر عرضة للالتهاب الرئوى وأمراض معدية مهددة للحياة أخرى.

يلاحظ الناس زيادة فى التيبس والألم فى المفاصل الزليلية مع تقدمهم فى العمر، وتؤثر أمراض المفاصل التنكسية على نمط حياة 85% من الأشخاص فوق سن 75. يقل سائل الزليل ويصبح الغضروف المفصلى أرق أو غائبًا. تتآكل أسطح العظام المكشوفة بعضها ببعض مما يسبب احتكاكًا وألمًا وتقليلًا فى الحركة. التهاب المفاصل التنكسى هو أكثر أمراض المفاصل شيوعًا بين كبار السن وأحد الأسباب الرئيسية للإعاقة الجسدية (انظر التعمق 9.5).

حتى التنفس يصبح أكثر صعوبة وإرهاقًا فى سن الشيخوخة بسبب تقييد توسع الصدر بتكلس مفاصل القص والأضلاع. يسبب تدهور الأقراص بين الفقرات ألمًا فى الظهر وتيبسًا، لكن الأقراص المنفتقة أقل شيوعًا فى الشيخوخة مقارنة بالشباب لأن الأقراص تصبح أكثر ليفية وأقوى مع انخفاض نواة اللب.

الجهاز العضلى

واحدة من أكثر التغيرات وضوحًا التى نختبرها مع التقدم فى العمر هى استبدال كتلة الجسم النحيلة (العضلات) بالدهون. يتجلى هذا التغير بشكل واضح فى صور الأشعة المقطعية للفخذ. فى رجل شاب يتمتع بلياقة جيدة، تشكل العضلات 90% من مساحة المقطع العرضى للفخذ الأوسط، بينما فى امرأة هزيلة تبلغ من العمر 90 عامًا، لا تتجاوز 30%. تبلغ قوة العضلات وكتلتها ذروتها فى العشرينات؛ وبحلول سن الثمانين، يمتلك معظم الناس نصف القوة والقدرة على التحمل فقط. لا يستطيع العديد من الأشخاص فوق سن 75 رفع وزن 4.5 كجم (10 أرطال) بأذرعهم؛ وقد تصبح مهام بسيطة مثل حمل كيس البقالة إلى المنزل مستحيلة. فقدان القوة هو عامل رئيسى فى السقوط والكسور والاعتماد على الآخرين فى الأنشطة اليومية الروتينية. تظهر ألياف العضلات سريعة الانقباض ضمورًا مبكرًا وشديدًا، مما يزيد من زمن الاستجابة ويقلل التنسيق. ومع ذلك، يمكن للتمارين المنتظمة أن تحافظ بشكل ملحوظ على حجم العضلات وقوتها وتستعيدها (الشكل 29.17).

هناك أسباب متعددة لفقدان القوة. تحتوى ألياف العضلات المسنة على عدد أقل من الميوفيبريل، لذا فهى أصغر وأضعف. تصبح الساركوميرات أكثر اضطرابًا، وتكون الميتوكوندريا العضلية أصغر ولديها مستويات أقل من الإنزيمات المؤكسدة.

إلى الأذن الداخلية، مما يسبب درجة من الصمم التوصيلي. يحدث ال صمم العصبى نتيجة انخفاض عدد خلايا الشعر القوقعية وألياف الع صب السمعى. أكبر فقدان للسمع يحدث فى الترددات العالية وفى ن طاق الترددات المستخدمة فى معظم المحادثات. يؤدى موت خلايا ا لمستقبلات فى القنوات الهلالية، واليوتريكول، والساكل، وألياف الع صب فى العصب الدهليزى، والخلايا العصبية فى المخيخ، إلى الدوار وضعف التوازن—وهو عامل آخر فى السقوط وكسور العظام.

تتراجع حواس التذوق والشم مع انخفاض عدد براعم التذوق، وخ لايا الشم، والخلايا العصبية من الدرجة الثانية فى البصيلات الشمية. قد يفقد الطعام جاذبيته، وبالتالى يمكن أن يكون تراجع الوظائف الح سية عاملاً فى سوء التغذية.

الجهاز الصماء

يتدهور الجهاز الصماء أقل من أى نظام عضوى آخر. ومع ذلك، تنخف ض هرمونات التكاثر بشكل حاد فى الشيخوخة، وتنخفض مستويات هرمون النمو وهرمون الغدة الدرقية تدريجيًا بعد فترة المراهقة. تصبح الغدة الصنوبرية متكلسة بشكل متزايد فى الشيخوخة وينخفض إنتاج ها لهرمون الميلاتونين. وبما أن الميلاتونين هو هرمون يحفز النوم، فق د يكون هذا سببًا للأرق الذى يعانى منه كبار السن غالبًا. تستمر هرمو نات أخرى فى الإفراز بمستويات مستقرة إلى حد ما حتى فى الشيخو خة. ومع ذلك، تنخفض حساسية الخلايا المستهدفة، لذا يكون لبعض الهرمونات تأثير أقل.

على سبيل المثال، تصبح الغدة النخامية أقل حساسية للتثبيط الراجع السلبى بواسطة الجلوكوكورتيكويدات الكظرية؛ ونتيجة لذلك، يكون الا ستجابة للإجهاد أطول من المعتاد. مرض السكرى أكثر شيوعًا فى ال شيخوخة، ويرجع ذلك إلى حد كبير إلى قلة مستقبلات الأنسولين فى ا لخلايا المستهدفة. ويرجع ذلك جزئيًا إلى زيادة نسبة الدهون فى الج سم لدى كبار السن. كلما زادت الدهون فى أى عمر، قلت حساسية ال خلايا الأخرى للأنسولين. تزداد الدهون فى الجسم مع ضمور العضلات، والعضلات هى واحدة من أهم أنسجة الجسم التى تخزن الجلوكوز. ب سبب استجابة الأنسولين المخففة، تبقى مستويات الجلوكوز مرتفعة لفترة أطول من المعتاد بعد تناول الطعام.

الجهاز الدورى

أمراض القلب والأوعية الدموية هى سبب رئيسى للوفاة فى الشيخوخة. للتقدم فى السن تأثيرات متعددة على الدم والقلب والشرايين والأورد ة. قد ينتج فقر الدم عن نقص التغذية، وقلة التمارين، والأمراض، وأ سباب أخرى. العوامل التى تسبب فقر الدم لدى كبار السن معقدة للغ اية لدرجة أنه من الصعب السيطرة عليها بما يكفى لتحديد ما إذا كان ا لتقدم فى السن وحده يسببه. تشير الأدلة إلى عدم وجود تغيير فى مع دل تكوين كريات الدم الحمراء الأساسى فى الشيخوخة. تركيز الهيموغ لوبين، وعدد الخلايا، والمتغيرات الأخرى متشابهة بين الأشخاص الأ صحاء فى السبعينيات من العمر كما فى الثلاثينيات. ومع ذلك، لا ي تكيف كبار السن جيدًا مع الإجهاد على الجهاز الدموى، ربما بسبب تده ور أنظمة الأعضاء الأخرى. على سبيل المثال، مع ضمور الغشاء المخا طى المعدى، ينتج أقل من العامل الداخلى اللازم لامتصاص فيتامين 12B. هذا يزيد من خطر الإصابة بفقر الدم. مع تقدم الكلى فى العمر وا نخفاض عدد النفرونات، يقل إفراز الإريثروبويتين. قد يكون هناك أى صًا حد لعدد المرات التى يمكن فيها لخلايا الجذعية الدموية الانقسام والاستمرار فى إنتاج خلايا دم جديدة.بغض النظر عن سببه، يحد فقر ا لدم من كمية الأكسجين التى يمكن نقلها وبالتالى يساهم فى ضمور ا لأنسجة فى جميع أنحاء الجسم.

التلافيف أوسع، والقشرة أرق، وهناك مساحة أكبر بين الدماغ والسحا يا. الخلايا العصبية القشرية المتبقية تحتوى على عدد أقل من المشا بك العصبية، ولعدة أسباب، يكون النقل المشبكى أقل كفاءة: تنتج ال خلايا العصبية كمية أقل من الناقلات العصبية، ولديها عدد أقل من ا لمستقبلات، والنسيج الداعم العصبى حول المشابك أكثر تسربًا ويسم ح للناقل العصبى بالانتشار بعيدًا. كما أن تدهور أغلفة المايلين مع ال تقدم فى العمر يبطئ من توصيل الإشارات العصبية. الخسائر ليست متساوية فى جميع أنحاء الدماغ، لكنها تكون أسرع فى القشرة الجبهية الأمامية — المنطقة المسؤولة عن التفكير المجرد، والحكم، والتخطي ط، والشخصية، والذاكرة الصريحة — وفى الحُصين، مركز تكوين الذا كرة.

تُظهر الخلايا العصبية انخفاضًا فى الشبكة الإندوبلازمية الخشنة وجهاز جولجى مع التقدم فى العمر، مما يشير إلى تباطؤ فى الأيض. تتراكم فى الخلا يا العصبية القديمة صبغة الليبوفوسين وتظهر المزيد من التشابكات الليفية العصبية — وهى حصائر كثيفة من عناصر الهيكل الخلوى فى السيتوبلازم. فى المادة خارج الخلوية، تظهر لويحات من البروتين الليفى)الأميلويد(، خاصةً لدى الأشخاص المصابين بمتلازمة داون ومرض الزهايمر)AD(. م رض الزهايمر هو أكثر الإعاقات العصبية شيوعًا فى سن الشيخوخة)انظ ر التعمق 12.4(.

ليست كل وظائف الجهاز العصبى المركزى تتأثر بشكل متساوٍ بالشيخوخة. التنسيق الحركى، والوظيفة الفكرية، والذاكرة قصيرة المد ى تتراجع أكثر من مهارات اللغة والذاكرة طويلة المدى. غالبًا ما يكون كبار السن أفضل فى تذكر الأحداث البعيدة مقارنة بتذكر الأحداث الحد يثة.

يفقد الجهاز العصبى الودى مستقبلات الأدرينالين مع التقدم فى العمر ويصبح أقل حساسية للنورإبينفرين. يساهم هذا فى تراجع السي طرة التوازنية على متغيرات مثل درجة حرارة الجسم وضغط الدم. يعا نى العديد من كبار السن من *انخفاض ضغط الدم الانتصابى* — وهو ا نخفاض فى ضغط الدم عند الوقوف، مما يؤدى أحيانًا إلى الدوار، وفقد ان التوازن، أو الإغماء. غالبًا ما تتجمع مشاكل التوازن وردود الفعل الع صبية العضلية البطيئة، وردود فعل الباروريسبتر الضعيفة، وهشاشة ا لعظام معًا بشكل مأساوى فى سقوط يؤدى إلى كسر فى الورك ويؤدى إلى الوفاة بسبب الالتهاب الرئوى ومضاعفات أخرى ناجمة عن عدم ا لحركة.

الأعضاء الحسية

تتراجع بعض الوظائف الحسية بعد فترة المراهقة بفترة قصيرة. قصر ا لنظر الشيخوخى)فقدان مرونة العدسات(يجعل من الصعب على الع ينين التركيز على الأشياء القريبة. تنخفض حدة البصر وغالبًا ما تتطلب العدسات التصحيحية فى سن مبكرة. إعتام عدسة العين)تعكر العد سات(أكثر شيوعًا فى الشيخوخة، وتفقد القرنيات بعضًا من شفافيته ا. يتأثر الرؤية الليلية حيث يحتاج الشبكية إلى المزيد والمزيد من الضو ء للتحفيز. هناك عدة أسباب لذلك: يقل عدد خلايا المستقبلات فى ا لشبكية، وتصبح العدسة والجسم الزجاجى أقل شفافية، ويصبح الحد قة أضيق بسبب ضمور موسعات الحدقة. حتى بدون إعتام عدسة الع ين، تستقبل الشبكية فى سن الستين ثلث كمية الضوء التى تستقبله ا فى سن العشرين. يستغرق التكيف مع الظلام وقتًا أطول بسبب بط ء التفاعلات الإنزيمية لخلايا المستقبلات الضوئية. يمكن أن تؤدى ال تغيرات فى بنية القزحية، الجسم الهدبى، أو العدسة إلى انسداد إعادة امتصاص الخلط المائى، مما يزيد من خطر الإصابة بالماء الأزرق)الج لوكوما(. قد يكون التخلى عن القراءة والقيادة من أصعب التغيرات فى نمط الحياة فى الشيخوخة.

تبلغ حساسية السمع ذروتها فى فترة المراهقة ثم تتراجع بعدها. تصبح غشاء الطبلة والمفاصل بين عظيمات السمع أكثر صلابة، مما يقلل من فعالية نقل الاهتزازات

الجهاز التنفسى

ينخفض التهوية الرئوية تدريجيًا بعد العشرينات، وهو أحد العوامل ال
تى تسهم فى فقدان القدرة على التحمل بشكل تدريجى. تصبح الغضا
ريف الضلعية والمفاصل فى القفص الصدرى أقل مرونة، وتقل الأن
سجة المرنة فى الرئتين، كما يقل عدد الحويصلات الهوائية. تنخفض ا
لسعة الحيوية، وحجم التنفس فى الدقيقة، وحجم الزفير القسرى. كما
يصبح كبار السن أقل قدرة على تنظيف الرئتين من المهيجات والممر
ضات، وبالتالى يزداد تعرضهم للعدوى التنفسية. يسبب الالتهاب الر
ئوى وفيات أكثر من أى مرض معدى آخر وغالبًا ما يُصاب به فى الم
ستشفيات ودور رعاية المسنين.
تُعد أمراض الرئة الانسدادية المزمنة)COPDs(— مثل النفاخ الر
ئوى والتهاب الشعب الهوائية المزمن — أكثر شيوعًا فى الشيخوخة لأ
نها تمثل التأثيرات التراكمية للتغيرات التنكسية على مدى الحياة. وه
ى من الأسباب الرئيسية للوفاة فى الشيخوخة، لكنها قابلة للتجنب؛ إ
ذ إنها أقل شيوعًا بكثير بين غير المدخنين مقارنة بالمدخنين. كما يسا
هم الانسداد الرئوى فى أمراض القلب والأوعية الدموية، ونقص الأك
سجة، والتنكس الناتج عن نقص الأكسجة فى جميع أجهزة الجسم. لذ
لك، تُعد صحة الجهاز التنفسى من الاهتمامات الرئيسية فى الشيخو
خة.

الجهاز البولى

تُظهر الكلى درجة ملحوظة من الضمور مع التقدم فى العمر. من سن
25 إلى 85، ينخفض عدد النيفرونات بنسبة 30% إلى 40% ويصبح م
ا يصل إلى ثلث الكبيبات المتبقية تصلبية تصلبية الشرايين، وبدون دم، وغير
وظيفية. تكون كلى الشخص البالغ من العمر 90 عامًا أصغر بنسبة 20
% إلى 40% من كلى الشخص البالغ من العمر 30 عامًا وتتلقى نصف
كمية الدم فقط. معدل الترشيح الكبيبى أقل بنسبة متناسبة وتصبح ا
لكلى أقل كفاءة فى إزالة الفضلات من الدم.
على الرغم من أن وظيفة الكلى الأساسية كافية حتى فى الشيخوخة، إلا أن
هناك قدرة احتياطية قليلة؛ لذلك يمكن أن تؤدى الأمراض الأخرى إلى ف
شل كلوى سريع بشكل مدهش. غالبًا ما تحتاج جرعات الأدوية إلى التخف
ض فى الشيخوخة لأن الكلى لا تستطيع إزالة الأدوية من الدم بسرعة؛ وهذا
عامل مساهم فى الإفراط فى تناول الأدوية بين كبار السن.
توازن الماء يصبح أكثر هشاشة فى الشيخوخة لأن الكلى أقل اس
تجابة لهرمون مضاد الإدرار ويقل الإحساس بالعطش. حتى عند توفير
الماء بحرية، لا يشرب العديد من كبار السن كمية كافية للحفاظ على
توازن الأسمولية فى الدم. لذلك، فإن الجفاف شائع.

تصبح عملية التبول والتحكم فى المثانة مشكلة لكل من الرجال و
النساء. يصاب حوالى 80% من الرجال فوق سن 80 بتضخم البروس
تاتا الحميد. يضغط البروستاتا المتضخم على الإحليل ويتداخل مع إفرا
غ المثانة. قد يسبب احتباس البول ضغطًا متزايدًا فى الكلى، مما يزيد
من فشل النيفرونات. النساء الأكبر سنًا معرضات لسلس البول)تسر
ب البول(، خاصة إذا كان لديهن تاريخ من الحمل والولادة الذى أضع
ف عضلات الحوض وصمام الإحليل. كما يمكن أن يسبب تدهور الجه
از العصبى الودى واضطرابات عصبية مثل السكتة الدماغية ومرض ا
لزهايمر سلس البول.

الجهاز الهضمى والتغذية

عادةً ما تقدم المطاعم "قائمة كبار السن" وأسعارًا مخفضة للعملاء الذين تزيد أعما
رهم عن 60 أو 65 عامًا، مع العلم أنهم يميلون إلى تناول كميات أقل من الطعام.
هناك عدة أسباب لهذا الانخفاض فى الشهية. فالكبار فى السن لديهم معدلا
ت أيض أقل ويميلون إلى أن يكونوا أقل نشاطًا من الشباب، وبالتالى يحتاجو
ن إلى سعرات حرارية أقل. كما أن المعدة تضعف مع التقدم فى العمر،

طَبِّق ما تعرفه

ارسم حلقة تغذية راجعة إيجابية توضح كيف يمكن لفقر الدم و
شيخوخة الكلى أن يؤثرا على بعضهما البعض.

يتأثر الجميع تقريبًا بدرجة ما فى الشيخوخة بتصلب الشرايين و
تصلب الشرايين التاجية)انظر التميز فى القسم 20.2أ(. يؤدى تصل
ب الشرايين التاجية إلى تدهور نسيج عضلة القلب؛ وتصبح الذبحة ال
صدرية واحتشاء عضلة القلب أكثر شيوعًا؛ ويصبح جدار القلب أرق وأ
ضعف؛ \وينخفض حجم الضربة، والنتاج القلبى، والاحتياطى القلبى.

مثل الأنسجة الصامة الأخرى، يصبح الهيكل الليفى للقلب أقل مرونة.
هذا يحد من تمدد القلب ويقلل من قوة الانقباض. تؤدى التغيرات ا
لتنكسية فى العقدة الجيبية الأذينية والعقدة الأذينية البطينية ومسارا
ت التوصيل فى القلب إلى زيادة حدوث اضطراب نظم القلب وانسدا
د القلب. تتأثر القدرة على التحمل البدنى بانخفاض النتاج القلبى.

الشرايين التى تصلبت بسبب تصلب الشرايين لا يمكنها التمدد
بفعالية لاستيعاب موجات الضغط الناتجة عن انقباض القلب.
لذلك يرتفع ضغط الدم تدريجيًا مع التقدم فى العمر، على الرغم من عد
م اليقين بشأن مدى كون هذا تأثيرًا بيولوجيًا جوهريًا للشيخوخة مقابل
تأثير الثقافة ونمط الحياة. لا يحدث ذلك فى جميع المجتمعات. كما
يضيق تصلب الشرايين الشرايين ويقلل من تروية معظم الأعضاء. و
قد لوحظت بالفعل تأثيرات انخفاض الدورة الدموية على الجلد والع
ضلات الهيكلية والدماغ.
يجمع بين تصلب الشرايين وارتفاع ضغط الدم يؤدى إلى إضعاف
الشرايين وزيادة خطر الإصابة بالتمدد الشريانى والسكتة الدماغية.
تؤدى اللويحات التصلبية إلى تحفيز التخثر، خاصة فى الأطراف ا
لسفلية، حيث يكون تدفق الدم بطيئًا نسبيًا ويتجلط الدم بسهولة أك
بر. يعانى حوالى 25% من الأشخاص فوق سن 50 من انسداد وريدى
بسبب التخثر—خاصة الأشخاص الذين لا يمارسون الرياضة بانتظام.

التغيرات التنكسية فى الأوردة تكون أكثر وضوحًا فى الأطراف.ت
صبح الصمامات أضعف وأقل قدرة على منع ارتجاع الدم.يتجمع الدم
فى الساقين والقدمين، مما يرفع ضغط الدم فى الشعيرات الدموية و
يسبب الوذمة.التمدد المزمن للأوعية غالبًا ما يؤدى إلى دوالى الأوردة
والبواسير.يمكن للجوارب الضاغطة تقليل الوذمة عن طريق ضغط الأ
نسجة وإجبار سائل الأنسجة على العودة إلى مجرى الدم، لكن النشاط ا
لبدنى أكثر أهمية فى تعزيز عودة الدم الوريدى.

الجهاز المناعى

كما ذُكر فى الفصل 21، يمر الغدة الزعترية)التيموس(بمرحلة انكما
ش ملحوظة)تراجع(مع التقدم فى العمر حتى لا يتبقى منها شىء تقر
يبًا بعد سن الستين. الخلايا اللمفاوية المعتمدة على التيموس)خلايا T
(ضرورية للمناعة لكنها تتوقف عن الإنتاج بعد سن الخامسة والستين
تقريبًا. كما تنخفض كميات الأنسجة اللمفاوية الأخرى ونخاع العظم ا
لأحمر مع التقدم فى العمر؛ ونتيجة لذلك، يقل عدد الخلايا الجذعية الم
كونة للدم، وخلايا الدم البيضاء المقاومة للأمراض، والخلايا العارضة للم
ستضدات)APCs(. بالإضافة إلى ذلك، غالبًا ما تفشل الخلايا اللمفاو
ية المنتجة فى هذه الأنسجة فى النضوج وتصبح قادرة على المناعة.
تعتمد كل من المناعة الخلطية والخلوية على الخلايا العارضة للمست
ضدات وخلايا T المساعدة، وبالتالى فإن كلا نوعى الاستجابة المناعية
يكونان مخففين. ونتيجة لذلك، يكون الشخص المسن أقل حماية ضد
السرطان والأمراض المعدية. يصبح من المهم بشكل خاص فى الشي
خوخة تلقى التطعيم ضد الإنفلونزا وغيرها من العدوى الموسمية الحاد
ة، رغم أن اللقاحات تكون أقل فعالية فى كبار السن م

لقد وُجد أن الأشخاص الذين يمارسون التمارين بشكل معتدل لم دة 10 إلى 15 دقيقة يوميًا يعيشون، في المتوسط، 3 سنوات أطول م ن الأشخاص الذين لا يمارسون الرياضة، على الرغم من صعوبة التمي يز بين السبب والنتيجة في مثل هذه الدراسات. أي أنه لا يزال من غي ر الواضح كم من هذا هو تأثير *التمرين* وكم هو نتيجة *ارتباط* مع خيارا ت نمط حياة صحية أخرى. ومع ذلك، لا شك في أن التمارين المنتظم ة تحافظ على القدرة على التحمل، والقوة، وحركة المفاصل، وتقلل من حدوث وشدة ارتفاع ضغط الدم، وهشاشة العظام، والسمنة، وداء ال سكري. وهذا صحيح بشكل خاص لأولئك الذين يبدأون برنامجًا منتظمً ا للتمارين الرياضية في وقت مبكر من الحياة ويجعلونه عادة دائمة. أما الذين يتوقفون عن ممارسة التمارين بانتظام بعد منتصف العمر، فإن أجسامهم تفقد لياقتها بسرعة، على الرغم من إمكانية تحقيق إعادة تأهيل ملحوظة حتى عند بدء برنامج التمارين في وقت متأخر من الح ياة. يمكن لشخص في التسعينات من عمره زيادة قوة العضلات بمقد ار الضعف أو الثلاثة أضعاف خلال 6 أشهر مع 40 دقيقة فقط من التم ارين الإيزومترية أسبوعيًا.
ينتج التحسن عن مزيج من تضخم العضلات وكفاءة الجهاز العصبي.

قد تكون تمارين المقاومة هي الطريقة الأكثر فعالية لتقليل الإصا بات العرضية مثل كسور العظام، في حين تقلل تمارين التحمل من ده ون الجسم وتزيد من النتاج القلبي والحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين . الإرشاد العام للتدريب المثالي على التحمل هو القيام بثلاث إلى خم س فترات من التمارين الهوائية أسبوعيًا، كل فترة من 20 إلى 60 دق يقة وبشدة كافية للوصول إلى 60% إلى 90% من الحد الأقصى لمعد ل ضربات القلب. يُفضل تحديد الحد الأقصى بواسطة اختبار الإجهاد، لكنه يبلغ في المتوسط حوالي 220 نبضة في الدقيقة ناقص عمر الش خص بالسنوات.
يفضل أن يسبق برنامج التمارين فحص طبي كامل واختبار إجهاد . فترات الإحماء والتهدئة مهمة بشكل خاص لتجنب إصابات الأنسجة الرخوة والإجهاد القلبي الوعائي الزائد. بسبب انخفاض قدرة تنظيم الح رارة لديهم، يجب على كبار السن توخي الحذر بعدم الإفراط في التمار ين، خاصة في الطقس الحار. في بداية برنامج تمارين جديد، من الأف ضل "البدء منخفضًا وببطء".

29.4ح نظريات الشيخوخة

لماذا تتآكل أعضاؤنا؟ لماذا يجب أن نموت؟ لا توجد حتى الآن نظرية ع امة حول هذا الموضوع. في الواقع، السؤال ينحصر في قضيتين:)1(م ا هي الآليات التي تسبب تدهور الأعضاء مع التقدم في العمر؟)2(لما ذا لم تقم الانتقاء الطبيعي بإزالة هذه الآليات وإنتاج أجسام قادرة على العيش لفترة أطول؟

آليات الشيخوخة

تم اقتراح العديد من الفرضيات ثم تم استبعادها لتفسير سبب تدهور وظيفة الأعضاء مع التقدم في العمر. يرى بعض الخبراء أن الشيخوخة هي عملية داخلية تحكمها تغييرات حتمية أو حتى مبرمجة مسبقًا في وظيفة الخلايا. بينما يعزو آخرون الشيخوخة إلى عوامل خارجية)بيئية(تتلف خلايانا تدريجيًا على مدار الحياة.

هناك أدلة قوية على وجود مكون وراثي لطول العمر.
تميل حياة الأشخاص الطويلة جدًا أو القصيرة جدًا إلى الانتشار داخل العائلات. ا لتوائم المتماثلة أكثر احتمالًا من التوائم غير المتماثلة أن يموتوا في عمر مشابه.
أحد العيوب الجينية اللافتة للنظر يسمى *البروجيريا*[20] يتميز بتسارع كبير في

[20] *pro* = قبل؛ *ger* = الشيخوخة

ويحتاجون إلى كمية أقل لملئها. بالنسبة للكثيرين، يفقد الطعام جاذبي ته الجمالية في سن الشيخوخة بسبب فقدان حواس الشم والتذوق و حتى البصر. بالإضافة إلى ذلك، يفرز كبار السن كمية أقل من اللعاب، مما يجعل الطعام أقل نكهة وصعوبة في البلع. كما أن انخفاض إفراز ا للعاب يجعل الأسنان أكثر عرضة للتسوس. الأطقم السنية هي حقيقة مزعجة لكثير من الأشخاص فوق 65 عامًا الذين فقدوا أسنانهم بسبب التسوس والتهاب اللثة. ضمور طهارة الفم والمريء يجعل هذه الأس طح أكثر عرضة للاحتكاك وقد يزيد من صعوبة المضغ والبلع. حتى الق درة على المضغ تتراجع؛ حيث تفقد عضلات المضغ حوالي 40% من كتلتها ويفقد عظم الفك السفلي حوالي 20% على مدار الحياة.

تقل الحركة في سن الشيخوخة مما يجعل التسوق وتحضير الوج بات أكثر صعوبة، ومع فقدان الطعام لجاذبيته الحسية، يقرر البعض أ ن الأمر لا يستحق العناء. ومع ذلك، تظل متطلبات البروتين والفيتام ينات والمعادن أساسية إلى حد كبير، لذا قد تكون المكملات من الفي تامينات والمعادن ضرورية لتعويض انخفاض تناول الطعام وضعف ا لامتصاص المعوي. سوء التغذية شائع بين كبار السن وهو عامل مهم في فقر الدم وضعف المناعة.

مع ضمور الغشاء المخاطي للمعدة، يقل إفراز الحمض والعامل ا لداخلي. يؤدي نقص الحمض إلى تقليل امتصاص الكالسيوم والحديد والزنك وحمض الفوليك. يصبح حرقة المعدة أكثر شيوعًا مع ضعف ا لصمام السفلي للمريء الذي يفشل في منع ارتجاع محتويات المعدة إ لى المريء. أكثر الشكاوى الهضمية شيوعًا بين كبار السن هي الإمسا ك، الناتج عن انخفاض توتر العضلات وضعف الحركات الدودية في ا لقولون.
يبدو أن ذلك ناتج عن مجموعة من العوامل: ضمور العضلة الخارجية، ا نخفاض الحساسية للناقلات العصبية التي تعزز الحركة، قلة الألياف وا لماء في النظام الغذائي، وقلة التمارين الرياضية.
يظهر الكبد والمرارة والبنكرياس انخفاضًا طفيفًا في الوظيفة، لكن انخ فاض وظيفة الكبد يقلل من معدل تعطيل الأدوية وقد يساهم في الإ فراط في تناول الأدوية.

الجهاز التناسلي

في الرجال، التغيرات الشيخوخية في الجهاز التناسلي تكون تدريجية نسبيًا؛ وت شمل انخفاض إفراز التستوستيرون، وعدد الحيوانات المنوية، وحجم السائل الم نوي، والرغبة الجنسية. بحلول سن 65، يكون عدد الحيوانات المنوية حوالي ثل ث ما كان عليه في العشرينات من عمر الرجل. يظل الرجال قادرين على الإنجا ب)أي قادرين على أن يكونوا آباءً(حتى في سن متقدمة، لكن قد تحدث ضعف الانتصاب)عدم القدرة على الحفاظ على الانتصاب(بسبب تصلب الشرايين، و ارتفاع ضغط الدم، والأدوية، والأسباب النفسية.
في النساء، تكون التغيرات أكثر وضوحًا وتتطور بسرعة أكبر. خلال فترة انقطاع الطمث، تُستهلك الجريبات المبيضية، ويتوقف تكوين ا لأمشاج، وتتوقف المبايض عن إنتاج الستيرويدات الجنسية. قد يؤدي ذلك إلى جفاف المهبل، وضمور الأعضاء التناسلية، وانخفاض الرغبة الجنسية، مما قد يجعل العلاقة الجنسية أقل متعة. مع فقدان الستيرو يدات المبيضية، تزداد مخاطر الإصابة بهشاشة العظام وتصلب الشرا يين لدى المرأة بعد انقطاع الطمث.

29.4ب التمارين الرياضية، الشيخوخة ، ومتوسط العمر المتوقع

بخلاف مرور الوقت فقط، فإن الشيخوخة تنتج عن السمنة وقلة التمار ين أكثر من أي أسباب أخرى.
وعلى العكس من ذلك، فإن التغذية الجيدة، والتمارين الرياضية، والتحكم في الوز ن هي أفضل الطرق لإبطاء تقدمها.

كروموسوم يشبه أطراف الحذاء البلاستيكية. في البشر، يتكون من تـ سلسل نوكليوتيدي غير مشفر CCCTAA يتكرر 1000 مرة أو أكثر. من وظائفه تثبيت الكروموسوم ومنعه من التفكك أو الالتصاق بكروموسومات أخرى. كما تمنع التيلوميرات الخلية من التعرف الخاطئ على نهايات الكروموسوم على أنها مكسورة وتنشيط آليات إصلاح الحمض النووي التي قد تسبب ضررًا أكثر من الفائدة.

أيضًا، أثناء تكرار الحمض النووي، لا يستطيع إنزيم بوليميراز الحمض النووي نسخ نهايات جزيء الحمض النووي. إذا كانت هناك جينات وظيفية في النهاية، فلن يتم نسخها. لذلك قد توفر التيلوميرات جزءًا من الحمض النووي "القابل للتخلص" في النهاية، حتى لا يفشل بوليميراز الحمض النووي في نسخ الجينات التي يجب أن تكون موجودة. في كل مرة يتم فيها تكرار الحمض النووي، تُفقد من 50 إلى 100 قاعدة من التيلومير. في الشيخوخة، ينخفض حمض التيلومير النووي إلى درجة يفشل فيها البوليميراز في نسخ بعض الجينات الطرفية. لذلك تصبح الكروموسومات القديمة أكثر عرضة للتلف أو أخطاء النسخ أو كليهما، مما يجعل الخلايا القديمة تزداد خللاً وظيفيًا. تعود الحياة الطويلة للخلايا الجذعية و"خلود" الخلايا السرطانية إلى إنزيم يسمى *التيلوميراز*، الذي يفتقر إليه الخلايا المتمايزة السليمة. يمكّن التيلوميراز الخلايا السرطانية والجذعية من إصلاح تلف التيلومير والهروب من الحد الأقصى لعدد انقسامات الخلايا. تسرع عدة حالات ومشاكل نمط الحياة من تقصير التيلومير—التدخين، السمنة، التوتر، قلة التمارين، النظام الغذائي غير الصحي، والتعرض المهني للمواد الكيميائية.

يزيد تقصير التيلومير المتسارع من مخاطر الإصابة بمرض الشريان التاجي، فشل القلب، داء السكري، هشاشة العظام، وأنواع عدة من السرطان، وبالتالي يزيد من خطر الوفاة المبكرة.

نظرية تلف الحمض النووي تلف التيلومير والشيخوخة التكرارية ليستا الجواب الكامل على سبب تدهور الأعضاء. تظهر ألياف العضلات الهيكلية وخلايا الدماغ علامات واضحة على الشيخوخة، ومع ذلك فإن هذه الخلايا غير منقسمة. نظرية رئيسية أخرى للشيخوخة هي تلف الحمض النووي غير المُصلح. يتعرض الحمض النووي لحوالي 10,000 إلى 100,000 حدث تدميري يوميًا في الخلية الثديية المتوسطة. يتم إصلاح معظمها بواسطة إنزيمات إصلاح الحمض النووي، لكن هذا ليس فعالًا بنسبة 100%. يبقى بعض الضرر ويتراكم مع تقدم الخلايا في العمر، خاصة الخلايا غير المنقسمة مثل الخلايا العصبية، وخلايا عضلة القلب، وألياف العضلات الهيكلية. وقد ثبت أن هذا الضرر التراكمي يسبب تراجعًا مرتبطًا بالعمر في وظائف الكبد والكلى؛ والقوة القلبية والعضلية؛ ووظائف الدماغ المتعلقة ببقاء الخلايا العصبية، واللدونة المشبكية، والتعلم، والذاكرة.

نظرية الربط المتقاطع حوالي ربع بروتينات الجسم هي الكولاجين. مع التقدم في العمر، تصبح جزيئات الكولاجين مرتبطة ببعضها البعض بواسطة المزيد والمزيد من جسور ثنائي الكبريتيد، مما يجعل الألياف أقل ذوبانًا وأكثر صلابة. يُعتقد أن هذا عامل في عدة تغييرات ملحوظة في جسم الإنسان مع التقدم في العمر، بما في ذلك تصلب المفاصل والعدسات والشرايين. يمكن أن يؤدي الربط المتقاطع المماثل لجزيئات الحمض النووي (DNA) والإنزيمات إلى تدهور تدريجي في وظائفها أيضًا.

تشوهات بروتينية أخرى ليس فقط الكولاجين، بل العديد من البروتينات الأخرى تظهر بنية غير طبيعية متزايدة في الأنسجة والخلايا الأكبر سنًا. التغيرات ليست في تسلسل الأحماض الأمينية— وبالتالي لا تُعزى إلى طفرات في الحمض النووي—بل تكمن في طريقة طي البروتينات والجزيئات الأخرى مثل الكربوهيدرات.



الشكل 29.18 البرجيريا. هذا اضطراب وراثي يبدو أن الشيخوخة فيه تتسارع بشكل كبير. الأفراد هنا، من اليسار إلى اليمين، أعمارهم 15 و12 و26 سنة. قليل من الأشخاص المصابين بالبرجيريا يعيشون طويلاً مثل المرأة على اليمين.

بيتمان/صور غيتي

تسارع الشيخوخة (الشكل 29.18). تبدأ الأعراض في الظهور بحلول عمر السنتين. ينخفض معدل نمو الطفل، وتصبح العضلات والجلد مترهلة، يفقد معظم المصابين شعرهم، ويموت معظمهم في سن المراهقة المبكرة بسبب تصلب الشرايين المتقدم. في متلازمة فيرنر، التي تسببها جين معيب على الكروموسوم 8، يظهر الأشخاص علامات الشيخوخة الواضحة بدءًا من العشرينات وعادة ما يموتون بحلول سن 50. هناك بعض الجدل حول مدى صلة أو تشابه هذه المتلازمات مع الشيخوخة الطبيعية، لكنها توضح أن العديد من التغيرات المرتبطة بالشيخوخة يمكن أن تحدث بسبب خلل جيني.
معرفة أن الشيخوخة جزئيًا وراثية، لا يجيب مع ذلك على سؤال سبب تدهور الأنسجة. من المحتمل ألا تفسر نظرية واحدة جميع أشكال الشيخوخة، لكن دعونا نستعرض بعضها بإيجاز.

الشيخوخة التكرارية عادةً ما تعتمد الوظيفة الطبيعية للأعضاء على معدل تجديد الخلايا الذي يواكب معدل موت الخلايا.
هناك حد، مع ذلك، لعدد المرات التي يمكن للخلايا أن تنقسم فيها. تنقسم الخلايا البشرية المزروعة في المختبر من 80 إلى 90 مرة إذا أُخذت من جنين، ولكن فقط من 20 إلى 30 مرة إذا أُخذت من أشخاص أكبر سنًا. بعد الوصول إلى الحد الأقصى لعدد الانقسامات، تتحلل الخلايا المزروعة وتموت. يُطلق على هذا التراجع في القدرة الانقسامية مع التقدم في العمر اسم الشيخوخة التكرارية.
سبب حدوث ذلك هو موضوع بحث نشط. تشير معظم الأدلة إلى التيلومير،[21] وهو "غطاء" على كل نهاية من

[21] *telo* = نهاية؛ *mer* = قطعة، جزء، شريحة

ومعدل وفيات الأطفال، وليس التقدم فى الطرف الآخر من فترة الحياة . وعلى النقيض من ذلك، انخفض متوسط العمر المتوقع فى الولايات المتحدة لمدة ثلاث سنوات متتالية. ويُعزى ذلك إلى التفاوت الاقتصادى المتزايد الذى أدى إلى زيادة فى إدمان الكحول، والجرعات الزائدة من المخدرات، والانتحارات بين الفئات الاقتصادية الضعيفة.
مدة الحياة، وهى الحد الأقصى للعمر الذى يمكن أن يصل إليه الإنسان، زادت بشكل ملحوظ من عام 1950 إلى 2010. ومع ذلك، لا يوجد حتى الآن سجل موثق لشخص عاش أكثر من 122 عامًا—جان كالمان)1875–1997(من أرس، فرنسا، والتى يمكنكم قراءة قصتها المثيرة على الإنترنت.
عادةً ما ينتج الموت عن فشل عضو معين، مما يؤدى إلى تأثير متسلسل على الأعضاء الأخرى. على سبيل المثال، يؤدى فشل الكلى إلى تراكم الفضلات السامة فى الدم، مما يؤدى بدوره إلى فقدان الوعى، ووظائف الدماغ، والتنفس، وضربات القلب.

لا يوجد لحظة محددة يمكن تعريفها على أنها الموت البيولوجى. بعض الأعضاء تستمر فى العمل لمدة ساعة أو أكثر بعد توقف القلب عن النبض. خلال هذا الوقت، حتى إذا تم إعلان وفاة الشخص قانونيًا، قد تُزال الأعضاء الحية لزرعها. يُعتبر الموت السريرى الآن على نطاق واسع توقف التنفس وتدفق الدم، على الرغم من أن القلب قد ينبض بشكل غير منتظم وغير فعال. عندما يتوقف تدفق الدم، عادةً ما يتوقف النشاط الدماغى القابل للقياس خلال
ما يصل إلى 40 ثانية أيضًا. قد يتنفس الشخص المحتضر بشكل غير منتظم، لكن 20
هذا لا يُعتبر استئنافًا للتنفس.
سوف يموت 99٪ منا قبل بلوغ سن 100 عام، وهناك فرصة ضئيلة لتغير هذا التوقع خلال حياتنا.
لا يمكننا فى الوقت الحالى توقع أى "علاج للشيخوخة" أو تمديد كبير فى مدة حياة الإنسان. القضية الحقيقية هى الحفاظ على أفضل جودة حياة ممكنة، وعندما يحين وقت الموت، أن يكون ذلك فى راحة وكرامة.

اقبل أن تتابع

أجب أو أكمل ما يلى لاختبار فهمك للقسم السابق.

13. عرف *الشيخوخة والهرم.*
14. اذكر بعض الأنسجة والأعضاء التى تسهم التغيرات فى الأنسجة الضامة الكولاجينية والمرنة فى شيخوختها.
15. يعانى العديد من كبار السن من صعوبة فى التنقل وأداء مهام العناية الذاتية مثل اللبس والطهى. سمِّ بعض أجهزة الجسم التى يكون لشيخوختها صلة وثيقة بهذه القيود.
16. اشرح لماذا يعتبر كل من تمارين التحمل وتمارين المقاومة مهمين فى سن الشيخوخة.
17. لخص خمسة آليات خلوية أو كيميائية حيوية قد تسهم فى الهرم.

ترتبط بها. هذا سبب آخر يجعل الخلايا تتراكم فيها
المزيد من البروتينات غير الوظيفية مع تقدمها فى العمر.

نظرية المناعة الذاتية بعض الجزيئات الكبيرة المعدلة التى وُصفت سابقًا قد تُعرف كمستضدات غريبة وتحفز الخلايا اللمفاوية لشن استجابة مناعية ضد أنسجة الجسم نفسها. فى الواقع، تصبح أمراض المناعة الذاتية أكثر شيوعًا فى سن الشيخوخة.

التطور والشيخوخة

إذا كانت بعض الجينات تساهم فى الشيخوخة، فإن ذلك يثير سؤالًا تطوريًا:لماذا لا تقوم الانتقاء الطبيعى بالقضاء عليها؟ فى محاولة للإجابة على ذلك،افترض علماء الأحياء سابقًا أن الشيخوخة والموت كانا من أجل مصلحة النوع—طريقة للأفراد الأكبر سنًا والمتعبين لإفساح المجال للأصغر سنًا والأصحاء. يمكننا أن نرى أهمية الموت للسكان البشريين بتخيل أن العلم قد أنهى الشيخوخة وكان الناس يموتون بمعدل سنوى قدره 1 لكل 1000 بغض النظر عن العمر)وهو المعدل الذى يموت به الأمريكيون فى عمر 18 عامًا الآن(. إذا كان الأمر كذلك، فإن متوسط عمر السكان سيكون 163 عامًا، وسيعيش 13% منا حتى عمر 2000 سنة. ستكون الآثار على السكان العالمى، والنظام الاجتماعى، والتنافس على الموارد مذهلة. لذلك، من السهل فهم لماذا كان يُفسر الموت سابقًا كظاهرة تضحية ذاتية من أجل مصلحة النوع.

لكن هذه الفرضية لها عدة نقاط ضعف. أحدها هو حقيقة أن الانتقاء الطبيعى يعمل حصريًا من خلال تأثيرات الجينات على معدلات التكاثر للأفراد. يتطور النوع فقط لأن بعض الأعضاء يتكاثرون أكثر من الآخرين. الجين الذى لا يؤثر على معدل التكاثر لا يمكن أن يُقضى عليه ولا يُفضل من قبل الانتقاء الطبيعى. الجينات المرتبطة باضطرابات مثل مرض الزهايمر ليس لها تأثير كبير أو لا تأثير حتى يتجاوز الشخص سن التكاثر. كان أسلافنا فى العصور القديمة وحتى فى العصور الحديثة يموتون عادةً بسبب الحوادث، الافتراس، الجوع، الطقس، والأمراض المعدية فى سن مبكرة. قليل من الناس عاشوا طويلاً بما يكفى ليتأثروا بتصلب الشرايين، سرطان القولون، أو مرض الزهايمر. كان الانتقاء الطبيعى "أعمى" تجاه هذه الجينات المميتة، التى كانت تهرب من عملية الانتقاء وتبقى معنا حتى اليوم.

٩٢.٤د الموت

متوسط العمر المتوقع، متوسط طول الحياة فى مجموعة سكانية معينة ، قد ازداد باستمرار فى البلدان الغنية. كان الأشخاص المولودون فى الولايات المتحدة فى بداية القرن العشرين يتوقعون عمرًا متوسطًا لا يتجاوز ٤٥ إلى ٥٠ سنة؛ حيث توفى ما يقرب من نصفهم بسبب الأمراض المعدية. ومع ذلك، اعتبارًا من عام ٢٠٢٠، كان من المتوقع أن يعيش الذكر المتوسط المولود فى الولايات المتحدة ذلك العام ٧٥.١ سنة والأنثى ٨٠.٥ سنة، لجميع المجموعات العرقية مجتمعة. ويرجع هذا الاتجاه الواسع النطاق فى الغالب إلى الانتصارات على وفيات الرضع

رؤية أعمق 29.5

التطبيق السريرى

تقنية الإنجاب المساعدة

الأزواج المخصبون من الجنسين الذين يمارسون الجماع بشكل متكرر ولا يستخدم ون وسائل منع الحمل لديهم فرصة 90% للحمل خلال سنة واحدة. ومع ذلك، حوا لى واحد من كل ستة أزواج أمريكيين *يعانون من العقم*—غير قادرين على الحمل. لهذا السبب وأسباب أخرى، يلجأ الأفراد والأزواج غالبًا إلى المساعدة السريرية لتح قيق الأبوة. تشمل الأسباب تجنب العيوب الوراثية عندما يكون أحد الوالدين معرو فًا بحمله لأليل ضار؛ العقم لدى الذكور أو الإناث؛ تاريخ من الإجهاض المتكرر؛ الرغ بة فى تخزين البويضات أو الحيوانات المنوية لتأجيل الأبوة؛ للحفاظ على الأمشاج الصحية قبل الخضوع للعلاج الكيميائى، أو جراحة سرطان المبيض أو الخصية، أو إ جراءات أخرى؛ والرغبة فى إنجاب الأطفال بين الأشخاص العزاب والأزواج من نف س الجنس. فى الولايات المتحدة وحدها، هناك أكثر من 140,000 تجربة و55,00 0 ولادة سنويًا باستخدام الطرق التى سيتم وصفها هنا. *تُعرف تقنية الإنجاب الم ساعدة)ART(* حسب تعريف خدمة الصحة العامة الأمريكية ومنظمة الصحة العالم ية بأنها تقنيات يتم فيها التلاعب بكل من البويضات والحيوانات المنوية.

التلقيح داخل الرحم

كان يُطلق على التلقيح داخل الرحم)IUI(سابقًا التلقيح الاصطناعى)AI(. من النا حية الفنية، يقع خارج تعريف تقنية الإنجاب المساعدة، لأنه يتضمن فقط التلاعب بالحيوانات المنوية، لكنه أقدم وأرخص الوسائل السريرية لتجاوز العقم الذكرى لتح قيق الأبوة. إذا كان عقم الرجل يتعلق فقط بانخفاض إنتاج الحيوانات المنوية *)قلة ا لحيوانات المنوية*[22]*(*، يمكنه تحقيق الأبوة البيولوجية من خلال عملية سريرية تجمع وتخزن الحيوانات المنوية من عدة قذف، ثم غسلها لإزالة السائل المنوى)الذى قد يسبب التهابًا فى رحم الأنثى(، ثم إدخالها إلى الرحم باستخدام قسطرة عنق الرحم. إذا لم ينتج أى حيوانات منوية على الإطلاق

)انعدام الحيوانات المنوية(أو كان معرضًا لخطر نقل عيب وراثى، يتم استخدام حيو انات منوية من متبرعين آخرين. الرجال الذين يخططون لإجراء قطع القناة الدافقة)الخصى(أحيانًا يتبرعون بالحيوانات المنوية للتخزين كضمان ضد وفاة طفل، الط لاق والزواج مرة أخرى، أو تغيير فى تخطيط الأسرة. تم إجراء التلقيح الاصطناعى لأ ول مرة فى عام 1790، وعلى مدى أكثر من قرن، كان المتبرعون بالحيوانات المنو ية غالبًا هم الأطباء أنفسهم أو طلاب الطب الذين تبرعوا مقابل أجر. تم تطوير التخ زين بالتبريد)التجميد(للسائل المنوى فى النيتروجين السائل عام 1953، وتم تح سين تقنيات التلقيح، وأصبح التلقيح داخل الرحم أكثر شيوعًا بكثير. افتتحت أول بنوك للحيوانات المنوية التجارية فى عام 1970. معظم النساء اللاتى يخضعن للتل قيح داخل الرحم يستخدمن حيوانات منوية من متبرعين مجهولين، لكنهن قادرات على الاختيار من كتالوج يحدد الصفات الجسدية والفكرية للمتبرعين. تتراوح نس بة نجاح التلقيح داخل الرحم بين حوالى 11% إلى 20% حسب سبب العقم.

التبرع بالبويضات

النظير لتبرع الحيوانات المنوية هو *التبرع بالبويضات*، حيث يتم الحصول على بو يضات طازجة من متبرعة، تخصيبها، وزرعها فى رحم العميلة. قد تختار المرأة هذا الإجراء لأسباب متنوعة: مثل تجاوز سن اليأس، أو استئصال المبايض، أو وجود ا ضطراب وراثى لا ترغب فى نقله إلى أطفالها، على سبيل المثال. أحيانًا تُقدم البو يضات المتبرع بها من قِبل أحد الأقارب أو قد تكون متبقية من تخصيب أنابيب ام رأة أخرى)انظر القسم التالى(. وُلد أول طفل تم إنجابه بواسطة التبرع بالبويضات فى عام 1984.

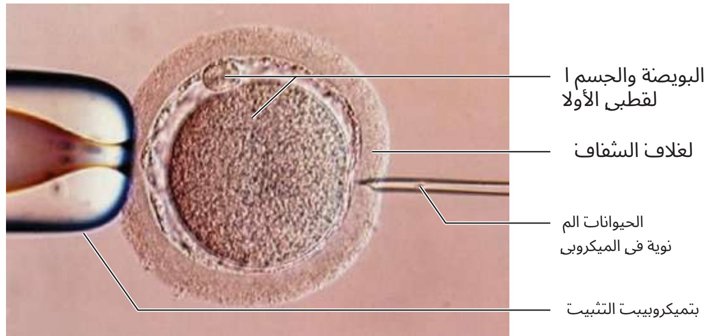
تم الإبلاغ عن معدل نجاح هذا الإجراء بنسبة تصل إلى 53% بعد محاولة واحدة و9 5% خلال أربع محاولات.

التلقيح الصناعى

التلقيح الصناعى فى المختبر)IVF(هو خيار للأزواج الذين يعانون من مشاكل مثل العقم عند الذكور والنساء اللاتى لا تستطيع أنابيب الرحم لديهن تمرير البويضة أو ا لجنين المبكر بسبب ندوب من مرض التهاب الحوض أو عيوب أخرى، ولكن لديه ن رحم سليم. يُسمى "فى المختبر" لأن الحيوانات المنوية والبويضات تُجمع معًا فى وعاء سريرى، حيث يحدث التلقيح قبل إدخال الأجنة المبكرة إلى الجسم. للتح ضير للتلقيح الصناعى، تُعالج المرأة بالهرمونات المنشطة للمبيض لتحفيز إنتاج ع دة بويضات. يقوم الطبيب بفحص المبيض باستخدام منظار البطن ويزيل البويضا ت عن طريق الشفط. تُوضع هذه البويضات فى محلول يحاكى البيئة الكيميائية ل قناة التناسل، ثم تُضاف الحيوانات المنوية إلى الوعاء. فى بعض الحالات، يُساعد ا لتلقيح عن طريق ثقب الغلاف الشفاف للبويضة قبل إضافة الحيوانات المنوية)ث قب الغلاف الشفاف(أو عن طريق حقن الحيوانات المنوية مباشرة فى البويضة ع بر ميكروبيبت)الشكل 29.19(. تُسمى الطريقة الأخيرة بحقن الحيوانات المنوية دا خل السيتوبلازم)ICSI(، وهى إجراء قياسى فى بعض العيادات.

تصل الأجنة المبكرة إلى مرحلة 8 إلى 16 خلية بعد حوالى يوم من التلقيح. إذا كان هناك قلق بشأن وجود تشوهات فى كروموسومات الوالدين مثل عدم الان فصال، يمكن إزالة خلية أو خليتين بأمان فى هذه المرحلة وفحصهما للتأكد من عد م وجود عيوب. ثم يقوم الطبيب بإدخال الأجنة المبكرة إلى الرحم ويراقب مستوى هرمون HCG لدى المرأة خلال الأيام التالية بحثًا عن علامات الانغراس. فى الحالا ت التى فقدت فيها المرأة مبايضها بسبب المرض، قد تُقدم البويضات من متبرع آخر، أحيانًا من أحد الأقارب. يمكن التبرع بالأجنة الزائدة من التلقيح الصناعى لأزوا ج آخرين يعانون من العقم، أو تجميدها لاستخدامها فى محاولات زرع لاحقة، أو ال تبرع بها لأغراض مثل أبحاث الخصوبة والخلايا الجذعية. تم تسجيل حالة حمل ناج حة باستخدام جنين تم تجميده قبل 20 عامًا.

فرصة النجاح فى كل محاولة تلقيح صناعى تتراوح بين 25% إلى 30% — وهى الأعلى لدى النساء الأصغر سنًا. تم استخدام التلقيح الصناعى فى تربية الحيوانات منذ خمسينيات القرن العشرين، لكن أول طفل وُلد بهذه الطريقة)وسط جدل كبير (كان فى عام 1978. ازداد استخدام هذه التقنية بسرعة بعد ذلك، وُلد حتى عام 20 18 ما لا يقل عن 8 ملايين طفل تم تلقيحهم صناعيًا. حصل مخترع التلقيح الصناع ى، روبرت إدواردز، على جائزة نوبل فى الفسيولوجيا أو الطب عام 2010 لهذا الإنج از.



الشكل 29.19حقن الحيوانات المنوية داخل السيتوبلازم)ICSI(.تُمسك ال بويضة بشفط لطيف على الميكروبيبت الأيسر بينما تُحقن الحيوانات المنو ية فى سيتوبلازمها عبر الميكروبيبت الأيمن.

صورة من فانى/ألامى ستوك فوتو

[22] oligo = قليل

[23] in vitro = فى الزجاج

20,000 دولار أمريكي لتقنيات نقل البويضات المخصبة في قناة فالوب)GIFT(ونقل الأجنة في ق ناة فالوب)ZIFT(— وهذه التكلفة لكل محاولة، مع فرص نجاح تتراوح بين 15% إلى 35%. هناك تفاوت كبير في ما إذا كانت سياسات التأمين أو خدمات الصحة الوطنية ستغطي التكاليف.

مثل العديد من التقدمات الأخرى في الطب، تمتلك تقنيات الإنجاب أيضًا مع ضلات أخلاقية وقانونية خاصة بها، بعضها محير بشكل خاص. ربما تكون المشكلة الأكثر شيوعًا هي الأم البديلة التي تغير رأيها. تدخل الأمهات البديلات في عقد لت سليم الطفل إلى الزوجين عند الولادة، ولكن بعد حمل الطفل لمدة 9 أشهر والولادة ، يشعرن أحيانًا بشكل مختلف. هذا يثير تساؤلات حول تعريف الأمومة، خاصة إذا كانت الأم الحاضنة ولكنها ليست الأم الجينية.

تُوضح المشكلة العكسية حالة كان فيها الطفل يعاني من استسقاء الدماغ ولم يرغب الزوجان المتعاقدان ولا الأم البديلة في الطفل. في هذه الحالة، أظهر الفح ص الجيني أن الطفل في الواقع كان من أب شريك الأم البديلة، وليس الرجل الذي تعاقد على الخدمة. ثم قبلت الأم البديلة الطفل كطفلها. ومع ذلك، أثارت القضية سؤالًا حول ما إذا كان ولادة طفل معيب جينيًا تشكل تنفيذًا للعقد وتلزم الزوجين ا لمتعاقدين بقبول الطفل، أو ما إذا كان مثل هذا العقد يعني أن الأم البديلة يجب أ ن تلد طفلًا سليمًا.

في حالة أخرى، قُتل زوجان ثريان في حادث وتركوا أجنة مجمدة في عيادة التل قيح الصناعي)IVF(. تم رفع دعوى نيابة عن الأجنة المجمدة على أساس أنها ورثة لممتلكات الزوجين ويجب أن تحملها أم بديلة حتى تولد وتتمكن من وراثتها. حكم ت المحكمة ضد الدعوى وسُمح للأجنة المجمدة بالهلاك. وفي حالة أخرى نُشرت ع لى نطاق واسع، رفع رجل دعوى ضد شريكته للمطالبة بحضانة الأجنة المجمدة كج زء من تسوية الطلاق.

تثير تقنية التلقيح الصناعي)IVF(أيضًا سؤالًا حول ما يجب فعله بالأجنة الزائد ة. يرى بعض الناس أن التخلص منها هو شكل من أشكال الإجهاض، حتى لو كان ا لجنين مجرد كتلة من 8 إلى 16 خلية غير متمايزة. من ناحية أخرى، هناك من يرون في هذه الأجنة الزائدة فرصة بحثية للحصول على معلومات لا يمكن الحصول على ها بأي طريقة أخرى. في عام 1996، سُمح لعيادة التلقيح الصناعي في إنجلترا بتدم ير 3,300 جنين غير مطالب به، ولكن فقط بعد جدل عام محتدم.

من الشائع أن تتطلب التقدمات العلمية تطورات جديدة في القانون والأخلاق. إن التطور المتوازي لهذه التخصصات ضروري إذا أردنا الاستفادة من تطورات الع لم وضمان تطبيق المعرفة بطريقة أخلاقية وإنسانية.

الأمهات البديلات

التلقيح الصناعي)IVF(هو خيار متاح فقط للنساء اللاتي لديهن رحم وظيفي. المرأ ة التي أجرت استئصال الرحم أو غير قادرة على الحمل أو الحفاظ على الحمل قد تتعاقد مع أم بديلة توفر "رحمًا للإيجار". بعض الأمهات البديلات يكون أمهات جي نات وحمل، وأخريات حمل فقط. في الحالة الأولى، يتم تلقيح الأم البديلة اصطناع يًا بحيوانات منوية من رجل وتوافق على تسليم الطفل للرجل وشريكته عند الولادة . في الحالة الثانية، يتم جمع البويضات من مبايض امرأة، وتخصب في المختبر، ثم توضع الأجنة في رحم الأم البديلة. هذا شائع في الحالات التي تكون فيها المرأة لديها مبايض وظيفية ولكن رحم غير وظيفي. تم إنتاج عدة مئات من الأطفال بهذه الطريقة في الولايات المتحدة. في حالة واحدة على الأقل، حملت امرأة طفل ابنته ا العقيمة، مما أدى إلى ولادة حفيدتها.

نقل الأمشاج داخل قناة فالوب

معدل النجاح المحدود للتلقيح الصناعي دفع إلى البحث عن تقنيات أكثر موثوقية وفعالية من حيث التكلفة. تم تطوير نقل الأمشاج داخل قناة فالوب)GIFT(في م نتصف الثمانينيات على فرضية أن الحمل سيكون أكثر نجاحًا إذا تم تخصيب البو يضة وبدأ الانقسام في بيئة أكثر طبيعية. تُجمع البويضات من المرأة بعد دورة علاج ية لمدة أسبوع لتحفيز الإباضة. يتم عزل أكثر الحيوانات المنوية نشاطًا من السائل المنوي، ثم تُدخل البويضات والحيوانات المنوية في قناة فالوب القريبة من أي ان سداد موجود.

في تعديل يسمى نقل الزيجوت داخل قناة فالوب)ZIFT(، يحدث التخصيب في ا لمختبر ويتم إدخال الجنين المبكر في قناة فالوب. يبدو أن مرور الجنين عبر قناة فالوب يحسن فرصة الانغراس عند وصوله إلى الرحم. فرصة النجاح في كل من GI FT وZIFT حوالي 22%.

تبني الأجنة

يُستخدم تبني الأجنة عندما تكون مبايض المرأة غير وظيفية ولكن لديها رحم طبيع ي. تُستخدم حيوانات منوية من متبرع ذكري لتلقيح امرأة أخرى اصطناعيًا. بعد ب ضعة أيام، يُغسل الجنين المبكر من رحم تلك المرأة قبل أن ينغرس وينقل إلى رح م المرأة التي ترغب في إنجاب طفل.

مشكلات في اختيار الطريقة

يمكن أن تدخل العديد من القضايا، التي تكون أحيانًا معقدة، في اختيار الشخص لخيارات تقنيات المساعدة على الإنجاب)ART(.

تختلف الطرق الموضحة هنا بشكل كبير في معدلات النجاح والتكلفة. تتراوح الن فقات من أقل من 1000 دولار أمريكي للتلقيح داخل الرحم)IUI(إلى أكثر من

دليل الدراسة

قيّم نتائج تعلمك

لاختبار معرفتك، ناقش المواضيع التالية مع شريك دراسة أو كتابة، ويفضل أن يكون ذلك من الذاكرة.

29.1 الإخصاب والمرحلة ما قبل الجنينية

1. لماذا يجب أن يلتقي الحيوان المنوي بالبويضة قرب الطرف البعيد من قناة الرحم؛ العوامل التي قد تساعد في هجرة الحيوان المنوي
2. لماذا لا يستطيع الحيوان المنوي الذي تم قذفه حديثًا تخصيب البويضة؛ العملية التي يكتسب من خلالها هذه القدرة
3. تفاعل الأكروسوم، الحواجز أمام الإخصاب، ولماذا يجب أن تتعاون عدة حيوانات منوية لتخصيب البويضة
4. مصطلح تخصيب البويضة بواسطة حيوانين منويين أو أكثر، وكيف ولماذا تمنع البويضة ذلك عادةً
5. الأحداث التي تحدث بين اختراق الحيوان المنويوطلظ كروموسومات الحيوان المنوي والبويضة؛ المصطلح للبويضة المخصبة
6. تقسيم الحمل إلى ثلاثة فصولوإلى مراحل ما قبل الجنين، والجنين، والجنين الكامل
7. مدة مرحلة ما قبل الجنين؛ الأحداث الثلاثة الرئيسية التي تحدث في هذه المرحلة؛والنتيجة النهائية لهذه المرحلة
8. معنى *الانقسام*؛ المصطلح للخلايا الناتجة؛ التطور وخصائص المورولا والبلستوسيست؛والتمييزات الهيكلية والوظيفيةبين التروفوبلاست والإمبريوبلاست
9. عملية الانغراس؛ السيتوتروفوبلاست والسينسيتيوتروفوبلاست؛ ودورالأخير في الانغراس وتغذيةالمفهوم
10. مصدر ووظيفة موجهة الغدد التناسلية المشيمائية البشرية
11. عملية التكوّر؛ تكوين وأسماء الطبقات الجرثومية الثلاث الأساسية؛ ولماذا تُسمى العملية بالتكوّن الجنيني

29.2 المراحل الجنينية والجنينية

1. الأحداث الرئيسية التي تحدث في المرحلة الجنينية والأعمار التطورية التي تبدأ وتنتهي فيها
2. الطي الطولي والجانبي للجنين؛ كيف يؤدي ذلك إلى تكوين تجويف الجسم والأمعاء؛ والمصطلح المستخدم لتمايز الأعضاء الجنينية
3. هيكل ووظيفة الأغشية الأربعة خارج الجنين المرتبطة بالجنين والجنين النامي
4. مصدر ووظائف السائل الأمنيوسي
5. كيف يتم تغذية الجنين قبل الانغراس
6. طريقة تغذية المشيمة؛ ما يهضم المشيمية لتغذيتها في هذه المرحلة؛ العمر التطوري الذي تتخلى فيه المشيمية عن دورها كطريقة التغذية السائدة لصالح المشيمة؛ والعمر الذي تنتهي فيه تمامًا
7. متى وكيف تبدأ المشيمة في التكون؛ هيكل المشيمة؛ طريقة نقل المواد الغذائية والنفايات بين دم الأم ودم الجنين
8. هيكل الحبل السرى وأصل ونهاية الأوعية الدموية الحبلية في جسم الجنين
9. متى يُعتبر الفرد جنينًا، وبأي معيار
10. *التطورات التي تحدث في مرحلة الجنين؛ مع ني الأشعة الرقمية، العقي، الزغب، الطلاء الشمعي، الحركة الأولى للجنين، ووضع الرأس*
11. لماذا يختلف نظام الدورة الدموية الجنيني عن نظام الدورة الدموية لحديثي الولادة، وأسماء التحويلات الدموية في الجنين

29.3 حديث الولادة

1. ما يحدث لحديث الولادة في فترة الانتقال التي تستمر من 6 إلى 8 ساعات بعد الولادة؛ مدة فترة حديث الولادة
2. ما يحدث للشرايين الحبلية والتحويلات الدموية الجنينية بعد الولادة؛ أسماء بقايا التحويلات في البالغين
3. لماذا يكون التنفس صعبًا جدًا للوليد
4. مصادر مناعة الوليد؛ العمر الذي يبدأ فيه الرضيع بإنتاج كميات كافية من الأجسام المضادة بنفسه
5. لماذا تنظيم حرارة الوليد حاسم جدًا؛ الأهمية الوظيفية للدهون البنية في الوليد
6. لماذا يحتاج الوليد إلى كمية أكبر من السوائل نسبةً إلى وزن الجسم مقارنةً بالبالغين
7. لماذا يكون الأطفال الخدج عرضة لمتلازمة ضيق التنفس عند الرضع، انخفاض حرارة الجسم، نقص البروتين في الدم، الوذمة، نقص التجلط، واليرقان
8. الأسباب الرئيسية الأربعة للتشوهات الخلقية (العيوب الولادية)
9. ثلاث فئات من المواد المشوهة (التيراتوجينات)، مع أمثلة لكل منها؛ ولماذا تختلف أنظمة الأعضاء في عمر التعرض الأقصى للتشوهات
10. بعض الأمراض المعدية الشائعة والخطيرة لدى حديثي الولادة
11. عدم الانفصال الكروموسومي وكيف يؤدي إلى متلازمات ثلاثية إكس، كلاينفلتر، تيرنر، وداون؛ علامات هذه المتلازمات؛ المصطلح لأي حالة يكون فيها عدد الكروموسومات الجنسية أو النسخ من كل كروموسوم جسدي أكثر أو أقل من اثنين

29.4 الشيخوخة والهرم

1. الفرق في المعنى بين الشيخوخة والهرم
2. الاختلافات في الأسباب الرئيسية للوفاة في الشيخوخة مقارنةً بتلك في مرحلة الشباب البالغ
3. التغيرات الهرمية في الجهاز الجلدي؛ الفروق بين الشيخوخة الذاتيةوالشيخوخة الضوئية للبشرة؛ ولماذا تؤدي الشيخوخة الجلدية إلى زيادة خطر عدم تحمل اللاكتوز، فقدان العظام، ضعف العضلات،وتدهور إفراز الغدد والانتقال الشبكي
4. التغيرات الهرمية في الجهاز الهيكلي وكيف يختلف الذكور والإناث في هذا الصدد
5. التغيرات الهرمية في الجهاز العضلي، وكيف تنشأ جزئيًا من هرم الجهاز العصبي
6. التغيرات الهرمية في الجهاز العصبي ولماذا يكون لهذا تأثيرات واسعة النطاق على التوازن الداخلي
7. أشكال تراجع الوظائف الحسية في الشيخوخة
8. الشيخوخة النسبية الطفيفة لمعظم وظائف الغدد الصماء باستثناء هرمونات التكاثر؛ أسباب زيادة خطر الإصابة بالسكري مع التقدم في العمر
9. التغيرات الهرمية في الجهاز الدوري بما في ذلك الدم، القلب، والأوعية الدموية؛ كيف تساهم شيخوخة الجهاز الدوري في ضمور العديد من الأعضاء الأخرى
10. لماذا تؤدي الخسائر الهرمية في وظيفة الجهاز المناعي إلى زيادة خطر وشدة الأمراض المعدية والسرطان
11. التغيرات الشيخوخية في الجهاز التنفسي، بما في ذلك القفص الصدري؛ لماذا تصبح الالتهاب الرئوي وأمراض الرئة الانسدادية المزمنة أسبابًا شائعة للوفاة

دراسة دليل

17. المساهمة الوراثية فى متوسط العمر المتوقع؛ السبب فى عدم قدرة الانتقاء الطبيعى على الق ضاء على الجينات التى تسبب الأمراض التنك سية فى الشيخوخة
18. الفرق بين مدة الحياة ومتوسط العمر المتو قع، ولماذا تمكنت العلوم الطبية من تمديد أحدهما وليس الآخر
19. المعايير السريرية والقانونية للموت وقضية كيفية اختلاف الموت السريرى عن الموت ا لبيولوجى الكامل
15. المساهمات النسبية للتمارين الرياضية المنتظ مة فى طول العمر وجودة الحياة فى الشيخوخ ة، والاضطرابات التى يقل فيها الخطر بسبب ا لتمارين المنتظمة
16. نظريات الشيخوخة بما فى ذلك الشيخوخة ال تكرارية ونظرية التيلومير؛ الربط المتقاطع للبروتين والحمض النووى؛ طى البروتين بشكل خاطئ والعيوب الهيكلية الأخرى؛ و نظرية المناعة الذاتية
12. التغيرات الشيخوخية فى الجهاز البولى؛ كي ف يؤثر ذلك على احتياجات السوائل والعلا ج الدوائى فى الشيخوخة؛ وأسباب زيادة اح تباس البول لدى الرجال المسنين وسلس ا لبول لدى النساء المسنات
13. التغيرات الشيخوخية فى الجهاز الهضمى و تأثيراتها على التغذية
14. التغيرات الشيخوخية فى الجهاز التناسلى الذ كرى والأنثوى والتأثيرات الهرمونية لهذه الشي خوخة على أجهزة الجسم الأخرى

اختبار استذكارك

الإجابات فى الملحق أ

1. عندما يصل الجنين إلى الرحم، فى أى مرحلة م ن مراحل التطور يكون؟
 - أ. الزيجوت
 - ب. مورولا
 - ج. خلية انقسامية
 - د. المرحلة الكيسية
 - هـ. جنين
2. يجب أن يسبق دخول نواة الحيوان المنوى إلى البويضة
 - أ. التفاعل القشرى.
 - ب. التفاعل القمى)الأكروسومى(.
 - ج. الحاجز السريع.
 - د. الانغراس.
 - هـ. الانقسام.
3. المرحلة التى يغرس فيها الجنين فى جدار الر حم هى
 - أ. خلية انقسامية)بلاستومير(.
 - ب. مورولا.
 - ج. كيسة أريمية)بلاستوسست(.
 - د. جنين.
 - هـ. زيجوت.
4. تتطور الزغابات المشيمية من
 - أ. المنطقة الشفافة)زوناى بيليوسيدا(.
 - ب. بطانة الرحم)الإندومتر(.
 - ج. النسيج المشيمى المتحد الخلايا)سينسيتيوتروفوبلاست(.
 - د. الجنين الداخلى.
 - هـ. التاج الإشعاعى.
5. أى من هذه ناتج عن عدم التوازن الصبغى؟
 - أ. متلازمة تورنر
 - ب. متلازمة الكحول الجنينية
 - ج. عدم الانفصال
 - د. الشيخوخة المبكرة)بروجيريا(
 - هـ. الحصبة الألمانية
6. يتجمع بول الجنين فى ______ و يساهم فى السائل هناك.
 - أ. جيب المشيمة
 - ب. كيس المح
 - ج. الألانتويس
 - د. الغشاء المشيمى)الكوريون(
 - هـ. الأمنيون
7. قد تكون قدرة الخلايا محدودة على عدد مرا ت الانقسام بسبب تقصير ______ كروموسوماتهم فى كل انقسام.
 - أ. الخلايا الانقسامية)البلاستوميرات(
 - ب. المراكز)السنتروميرات(
 - ج. التيلوميرات
 - د. متوسط العمر المتوقع
 - هـ. الكروموسومات الذاتية
8. الشيخوخة الضوئية هى عامل رئيسى فى شيخوخة
 - أ. الجهاز الجلدى)الجلد(.
 - ب. العينين.
 - ج. الجهاز العصبى.
 - د. الجهاز الهيكلى.
 - هـ. الجهاز القلبى الوعائى.
9. أى من هذه *ليست* من التأثيرات الشائعة للشيخوخة؟
 - أ. انخفاض تخليق فيتامين د
 - ب. ضمور الكلى
 - ج. ضمور التلافيف الدماغية
 - د. زيادة خطر انفتاق القرص بين الفقرا ت
 - هـ. انخفاض السعة الحيوية الرئوية
10. خلال الأسابيع الثمانية الأولى من الحمل، يتم تغذية الجنين بشكل رئيسى بواسطة
 - أ. المشيمة.
 - ب. السائل الأمنيوسى.
 - ج. اللبأ.
 - د. خلايا بطانة الرحم)الخلايا الانساخية(.
 - هـ. سيتوبلازم المح
11. الفيروسات والمواد الكيميائية التى تسبب ت شوهات خلقية فى التشريح تُسمى ______.
12. فشل ______ تحدث بسبب)Aneuploidy(اللاعددية انفصال كروموسومين متماثلين فى الانقسام الاخ تزالى)الميتوزى(.
13. الحد الأقصى للعمر الذى يمكن أن يصل إليه الفرد من نوع الإنسان يُسمى ______.
14. متوسط العمر الذى يصل إليه الإنسان فى مجتمع معين يُسمى ______.
15. يتدفق دم الجنين عبر نموات تُسمى ______، والتى تمتد إلى الـ pla- الجيب المركزى.
16. الإنزيمات التى يخترق بها الحيوان المنويالبوي ضة موجودة فى عضية تسمى ______.
17. تصلب الشرايين والمفاصل والعدسات فى الشيخوخة قد يكون نتيجة للترابط المتبادل بين ______ الجزيئات.
18. تضخم اللسان، وطيات الإيبيكانثال فى العينين، وضعف ذهنى هى من خصائص شذوذ جينى يسمى ______.
19. الحفرة البيضاوية هى بقايا من تحويلة جنينية تسمى ______.
20. يتم تصنيف الفرد النامى أولاً ك ______ عندما تتكون الطبقات الجرثومية الثلاثة الأساسية.

دليل الدراسة

بناء مفرداتك الطبية

الإجابات فى الملحق أ

اذكر معنى كل عنصر من عناصر الكلمة، وقدم م صطلحًا طبيًا من هذا الفصل يستخدمه أو يستخدم نسخة بسيطة منه.

1. con-
2. decidu-
3. gero-
4. mor-
5. placento-
6. -ploid
7. senesc-
8. syn-
9. تيلو-
10. تيراتو-

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

الإجابات فى الملحق أ

اشرح بإيجاز لماذا كل من العبارات التالية خاطئة، أو أعد صياغتها لتصبح صحيحة.

1. تتراجع قدرة الحيوانات المنوية على تخصب البويضة بشكل حاد خلال أول ٥ ساعات بعد القذف.
2. يحدث التخصيب عادة فى تجويف الرحم.
3. عادةً ما تُخصب البويضة بواسطة أول ح يوان منوى يتصل بها.
4. يبدأ الزيجوت بالانقسام إلى عدة خلايا جنين ية بمجرد وصوله إلى الرحم.
5. يُعتبر الجنين لأول مرة جنينًا عندما تتكون جميع الطبقات الجرثومية الأولية الثلاث.
6. مع تطور المشيمة، تصبح أغشية الزغابات ا لمشيمية أكثر سمكًا وأكثر انتقائية فيما يتع لق بالمواد التى يسمح بمرورها إلى الجنين عبر الدم.
7. تُظهر الكلى شيخوخة أقل بكثير فى سن ال شيخوخة مقارنة بمعظم الأعضاء الأخرى.
8. يتجاوز دم الجنين الكبد غير الوظيفى عن طريق المرور عبر الثقب البيصناوى.
9. الدم فى الوريد السرى يحتوى على ضغط جزئى للأكسج ين (PO_2) أقل من الدم فى الشرايين السُرّيّة.
10. يُعتقد أن التدمير التدريجى للتيلوميرات بوا سطة التيلوميراز هو مساهم رئيسى فى ال شيخوخة وموت الخلايا.

اختبار فهمك

1. افترض أن امرأةً حدث لها طفرة أدت إلى فى منطقة بيضاء صلبة لم تتحلل- تتكامل بعد تخصيب البويضة. كيف سيؤثر هذا على خصوبتها؟ ولماذا؟
2. افترض أنه تم تطوير دواء يمكنهإبطاء معدل ترابط الكولاجين مع التقدم فى العمر. ما هى أم راض الشيخوخة التى يمكنأن تصبح أقل حدة باستخدام مثل هذا الدواء؟
3. تسوق بعض متاجر الأغذية الصحية لإنزيم سو بر أكسيد ديسموتاز (SOD) كمضاد أكسدة فمو ى لتأخير الشيخوخة. اشرح لماذا سيكون من إه دار أموالك شراؤه.
4. فى بعض الأطفال، يفشل القناة الشريانية فى الإغلاق بعد الولادة — وهى حالة تتطل ب فى النهاية جراحة. توقع كيف ستؤثر هذه الح الة على (أ) ضغط الدم الرئوى، (ب) ضغط الدم ا لانبساطى الجهازى، و (ح) البطين الأيمن للقلب.
5. يحتاج الحيوان المنوى الواحد فقط لتخصب البويضة، ومع ذلك فإن الرجل الذى يقذ ف أقل من 10 ملايين حيوان منوى يكون عادة عقيمًا. فسّر هذا التناقض الظاهر. بافتراض قذف 10 ملايين حيوان منوى، تنبأ بعدد الح يوانات المنوية التى ستقترب من البويضة. م ا مدى احتمال أن يقوم أى من هذه الحيوانات المنوية بتخصيبها؟

APPENDIX أ

ANSWER المفاتيح

يوفر هذا الملحق إجابات على الأسئلة الموجودة فى تسميات الأشكال وأسئلة نهاية الفصل فى أقسام "اختبر ذاكرتك"، "بناء مفرداتك الطبية "، و"ما الخطأ فى هذه العبارات؟". تتوفر إجابات أسئلة "طبق ما تعرف " و"اختبر فهمك" للمدرسين على موقع النص Connect.

الفصل 1

أسئلة تسميات الأشكال

1.7 يسمح توسع الأوعية الدموية بتدفق المزيد من الدم بالقرب من سطح ا
لجسم وفقدان الحرارة عبر الجلد؛ وبالتالى، يبرد الجسم.

1.9 نعم؛ يمكن القول إن الحمل ينشط سلسلة من الأحداث التى تؤدى إ
لى الولادة، وهى إنهاء الحمل. وبالتالى، له خصائص حلقة تغذية را
جعة سلبية.

1.11 التصوير بالرنين المغناطيسى)MRI(أفضل من الأشعة السينية فى تصوير الأن
سجة العصبية، لأن الأشعة السينية لا تخترق العظام جيدًا. كما أنه يظهر تباينًا أفض
ل من الأشعة السينية فى تصوير الأنسجة الرخوة الأخرى. الأشعة السينية أفضل م
ن التصوير المقطعى بالإصدار البوزيترونى)PET(فى تصوير العظام والأسنان والأن
سجة الصلبة أو الكثيفة الأخرى، حيث أن التصوير المقطعى بالإصدار البوزيترونى له
دقة منخفضة نسبيًا ولا يخدم جيدًا فى تصوير الأنسجة التى لا تظهر تغيرًا إقليميًا ك
بيرًا فى معدل الأيض.

اختبار استرجاعك

1. أ	8. c	15. التوازن الداخلى
2. e	9. d	16. نقطة الضبط
3. d	10. ب	17. التغذية الراجعة السلبية
4. أ	11. تشريح	18. عضو
5. c	12. التدرج	19. مجسم
6. c	13. الاستنتاج	20. قابض، معاكس
7. أ	14. نفسى جسدى	

بناء مفرداتك الطبية)قد تختلف الإجابات؛ هذه أمثلة مقبولة.(

1. استمع—الاستماع)السمع الطبى(	6. الطبيعة—علم وظائف الأعضاء
2. بعيد—التشريح	7. قطع—التشريح
3. نفس الشىء—التوازن الداخلى)الاستتباب(	8. البقاء—التوازن الداخلى
4. تغيير—الأيض	9. صلب—مجسم
5. لمس—الجس	10. للقطع—التصوير المقطعى

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

1. الاستماع)Auscultation(يعنى الاستماع إلى أصوات الجسم، وليس فحص ا
لجسم باللمس.
2. التصوير بالرنين المغناطيسى)MRI(لا ينطوى على إشعاع مؤين ولا يشكل خطراً معروفاً على الجنين.
3. التغذية الراجعة الإيجابية مفيدة فى حالات محدودة، لكنها غالباً ما تسبب خروجاً سريعاً من نقطة التوازن الداخلى وقد تؤدى إلى المر
ض أو الوفاة.
4. كل خلية تحتوى على العديد من العضيات، لذا فإن عدد العضيات يفوق عدد الخلايا بكثير.
5. المادة ستتحرك تلقائيًا نزولًا على التدرج دون الحاجة إلى تطبيق طاقة خارجية.
6. ليوينهوك كان تاجر أقمشة بنى مجاهر لفحص الأقمشة.
7. النظرية العلمية مؤسسة على كمية كبيرة من الأدلة وتلخص ما هو معروف بالفعل.
8. تتكون كل من مجموعتى العلاج والمراقبة من مرضى متطوعين.
9. لا يعتقد علماء الأحياء التطورية أن البشر تطوروا من القرود، بل أن ال
بشر والقرود العليا تطوروا من سلف مشترك.
10. التغذية الراجعة السلبية هى عملية تصحيح ذاتى لها تأثير مفيد عل
ى الجسم.

ATLAS A

أسئلة تسميات الأشكال

أ.4 الربع السفلى الأيمن)RLQ(

أ.8 لا، هو أدنى من تجويف الصفاق، حيث يمر الصفاق فوق سطحه ال
علوى.

اختبار استرجاعك

1. d	8. d	15. مقابل الجانب
2. c	9. ب	16. الأغشية السحائية
3. e	10. d	17. خلف الصفاق
4. d	11. مساريقا	18. وسطى
5. d	12. جدارية	19. سفلى
6. أ	13. المنصف	20. الكوع، خلف الركبة
7. أ	14. العنقى	

بناء مفرداتك الطبية)قد تختلف الإجابات؛ هذه أمثلة مقبولة.(

1. قبل—الساعد	6. داخل—داخل الصفاق
2. الرقبة—الرقبى	7. الجدار—جدار
3. أعلى—الجزء فوق المعدة	8. حول—الصفاق
4. أسفل—تحت الضلوع	9. خلف—خلف الصفاق
5. الأربية—الإربى	10. السهم—السهمى

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

1. يمكن أن يمر المقطع السهمى فقط بين الرئتين أو عبر رئة واحدة، ولي
س عبر كلتيهما.
2. يمر المقطع الأمامى من اليسار إلى اليمين وقد يشمل كلتا العينين.
3. الركبة أقرب إلى الجذع من الكاحل)منطقة الرسغ(.
4. الحجاب الحاجز يقع أسفل الرئتين.
5. المرىء يقع فوق المعدة.
6. يمتد الكبد من المنطقة تحت الضلعية إلى المنطقة فوق المعدة، فوق المنطقة القطنية.
7. القلب محاط بتجويف التامور لكنه غير محتوى بداخله.
8. الكليتان خلف الصفاق.
9. البريتون يبطّن الجزء الخارجى من المعدة والأمعاء.
10. القولون السينى يقع فى الربع السفلى الأيسر.

الفصل 2

أسئلة تسميات الأشكال

2.8 نظرًا لأن جزيئات الماء تنجذب إلى بعضها البعض، فإنها تحتاج إلى طاق
ة حرارية أكبر لكى يتمكن أى منها من التحرر والتبخر.

2.12 التحلل

بناء مفرداتك الطبية)قد تختلف الإجابات؛ هذه أمثلة مقبولة.(

1. عكس—مصاد للنقل
2. لون—كروماتين
3. معًا—نقل مشترك
4. خلية—سيتوبلازم
5. إلى الداخل، داخل—الابتلاع الخلوى
6. سهل—مُيسر
7. مغزل—مغزلى الشكل
8. دراسة—علم الخلايا
9. عملية—ابتلاع السوائل
10. أكل—البلعمة

ما الخطأ في هذه العبارات؟

1. الانتشار الاسموزى لا يتطلب ATP، لذلك يمكن أن يستمر حتى بعد موت ا لخلية.
2. بعض الخلايا تحتوى على نواتين أو أكثر وبعض الخلايا لا تحتوى على نواة.
3. الرسل الثانيون ينشطون الإنزيمات داخل الخلية؛ وهم ليسوا بروتينات ناقلة.
4. تنتج البيروكسيسومات بواسطة الشبكة الإندوبلازمية، وليس بواسطة جهاز جولجى.
5. لا يمكن للقناة أن تنقل المادة من خارج الخلية إلى داخلها ما لم تمتد عبر الغشاء بالكامل؛ يجب أن تكون بروتين عابر للغشاء.
6. يتكون الغشاء البلازمى بشكل رئيسى من جزيئات الفسفوليبيد— cules.
7. الحدود الفرشية تتكون من الأهداب الدقيقة.
8. الخلايا فى محلول ملحى مفرط التوتر ستفقد الماء وتنكمش.
9. الانتشار ليس عملية تتم بواسطة ناقل وبالتالى لا يخضع لحد أقصى للن قل.
10. العديد من الريبوسومات تكون حرة فى السيتوسول، غير مرتبطة بالشبكة الإندوبلازمية أو النواة.

2.26 لا، كمية الطاقة المنبعثة هى نفسها مع أو بدون إنزيم.

اختبار استرجاعك

1. أ
2. c
3. أ
4. c
5. أ
6. e
7. ب
8. c
9. ب
10. d
11. ايون موجب
12. الجذور الحرة
13. محفز، إنزيمات
14. البناء
15. التخليق بإزالة الماء
16. -وز، -آز
17. الفوسفوليبيدات
18. أدينوسين أحادى ا لفوسفات الحلقى
19. التخمير اللاهوائى
20. المادة الحاملة

بناء مفرداتك الطبية)قد تختلف الإجابات؛ هذه أمثلة مقبولة.(

1. ليس—ذرة
2. الأكسجين—هوائى
3. كلاهما—ذو طبيعة أمفيباثية
4. حرارة—سعرة حرارية
5. لاصق—كولloid
6. ماء—تحلل مائى
7. جزء—بوليمر
8. واحد—مونومر
9. قليل—أوليجوسكاريد
10. محب—محب للماء

ما الخطأ في هذه العبارات؟

1. الوحدات الأحادية للبوليسكاريد هى السكريات الأحادية)السكريات ال بسيطة(.
2. لا يُعتبر ATP جزيئًا لتخزين الطاقة. معظم طاقتنا الاحتياطية مخزنة فى الدهون.
3. تُسمى هذه الجزيئات إيزومرات، وليست نظائر.
4. التحلل البنائى ينتج منتجات تحتوى على طاقة أقل من المتفاعلات.
5. روابط الببتيد تربط الأحماض الأمينية معًا، وليس السكريات.
6. الدهون المشبعة هى تلك التى لا يمكن إضافة المزيد من الهيدروجين إليها.
7. الإنزيمات، مثل جميع المحفزات، لا تُستهلك فى التفاعلات التى تحفز ها.
8. فوق درجة حرارة معينة، تتغير بنية الإنزيمات وتتوقف عن العمل.
9. هذه المذابّات لها أوزان جزيئية مختلفة، لذا فإن محاليل 2% لن تحتو ى على نفس عدد الجزيئات لكل وحدة حجم.
10. محلول بدرجة حموضة 8 يحتوى على عُشر تركيز أيونات الهيدروجين. لواحد ذو الرقم الهيدروجينى ٧.

الفصل ٣

أسئلة تسميات الأشكال

٨.٣ الأدينيلات سيكلاز هو بروتين عابر للغشاء. بروتين G هو بروتين محى طى.

3.19 مضخة الصوديوم Na^+– البوتاسيوم K^+ تحتاج إلى ATP، فى حين أن الأسموز لا تحتاج . يتم استنفاد ATP بسرعة بعد موت الخلية.

3.22 النقل الخلوى عبر الحويصلات هو مزيج من الالتقام الخلوى والإفراز الخلوى.

٧٢.٣ يجب أن تمر الجزيئات الكبيرة مثل الإنزيمات والحمض النووى الريبى عبر المسام النووية، ولكن يجب أن تكون المسام فى غشاء البلازما صغ يرة بما يكفى لمنع جزيئات كبيرة مثل هذه من الهروب من الخلية.

3.33 يتكون السنترول من أسطوانة تحتوى على تسع مجموعات من الأنابيب ا لدقيقة، ولكن فى السنترول، هناك ثلاث أنابيب دقيقة فى كل مجموعة ، أما فى الأكسونيم فهناك أنبوبان فقط. كما أن الأكسونيم عادةً يحتوى على زوج مركزى من الأنابيب الدقيقة، فى حين أن السنترول لا يحتوى على ذلك.

اختبار استرجاعك

1. e
2. ب
3. d
4. ب
5. e
6. e
7. أ
8. c
9. d
10. ب
11. ميكرومتر
12. الرسول الثانى
13. بوابة الجهد
14. الضغط الهيدروستاتيكى
15. فرط التوتر
16. الإخراج الخلوى
17. ريبوسومات، بروتيازومات
18. الشبكة الإندوبلازمية الملساء
البيروكسيسومات
19. القناة المُفتّحَة بواس طة اللليجاند
20. الحويصلة

الفصل ٤

أسئلة تسميات الأشكال

١.٤ سيتصنخم اللولب حيث يتم اقتران قاعدتين من البورين، وسينقبض حيث يتم اقتران قاعدتين من البيريميدين.

٨.٤ لن يكون لدى الريبوسوم طريقة لتثبيت الببتيد المكتمل جزئياً أثناء إ ضافة الحمض الأمينى التالى.

اختبار استرجاعك

1. أ
2. e
3. c
4. c
5. e
6. ب
7. أ
8. d
9. d
10. أ
11. انقسام السيتوبلازم)السيتوكينيز(
12. كينازات معتمدة على السيكلين
13. الرمز الوراثى
14. تعدد الريبوسومات
15. بوليميراز الحمض النووى الريبى)RNA polymerase(
16. الجينوم
17. 46, 92, 92
18. الريبوسوم
19. عوامل النمو
20. الصبغيات الجسدية

بناء مفرداتك الطبية)قد تختلف الإجابات؛ هذه أمثلة مقبولة.(

1. مختلف—أليل
2. الإصبع—تعدد الأصابع
3. مزدوج—ثنائى الصيغة الصبغية
4. نصف - احادى الصيغة الصبغية
5. مختلف - متغاير الزيجوت
6. النواة—الكروموسوم النووى
7. التالى فى السلسلة—الطور الاستوائى
8. الشكل—تعدد الأشكال
9. تغيير—طفرة
10. كثير—تعدد الأصابع

ما الخطأ في هذه العبارات؟

1. لا توجد ريبوسومات على جهاز جولجى؛ فهى موجودة على الشبكة الإندوبلازمية الخشنة.
2. لا توجد جينات للستيرويدات أو الكربوهيدرات أو الفسفوليبيدات، بل فقط للبروتينات.
3. الحمض النووى الريبى)RNA(وزنه نصف وزن الحمض النووى)DNA(لنفس الطول لأنه يحتوى على شريط نوكليوتيدى واحد فقط، بينما يحتوى الحمض النووى على شريطين.
4. كل حمض أمينى يُمثّل بواسطة ثلاثى، وهو تسلسل من ثلاث قواعد وليس زوج قاعدة واحد.
5. يمكن لجين واحد أن يشفر عدة بروتينات.

6. هذا القانون يصف اقتران القواعد بين شريطى الحمض النووى)DNA(، وليس بين الرنا الرسول)mRNA(والرنا الناقل)tRNA(.
7. حوالى ٢٪ فقط من الحمض النووى البشرى يشفر البروتينات.
8. يمكن أن تكون الطفرات ضارة أو مفيدة أو محايدة.
9. الذكور لديهم كروموسوم X واحد فقط، لكن لديهم اثنين من الكروموسومات الجنسية)X و Y(.
10. يمكن لعدة جزيئات من بوليميراز RNA فى نفس الوقت نسخ جين واحد.

الفصل ٥

أسئلة تسميات الأشكال

٢.٥ هذه مقاطع طولية. فى المقطع العرضى، سيبدو كل من بياض البيض والصفار دائريين. فى المقطع المائل، سيبدو البياض بيضاويًا لكن الصفار سيظل يبدو دائريًا.

٢١.٥ الطهارة فى اللسان، تجويف الفم، المرىء، وقناة الشرج ستبدو مشابهة لهذا.

5.28 الوصلات الفجوية

5.30 الإخراج الخلوى

5.31 سيكون الرسم التخطيطى مشابهًا لأحد الأكياس البنفسجية فى الشكل الأوسط، ينمو مباشرة من السطح الطهارى دون وجود قناة.

5.32 الغدد الهولوكرينية، لأن الخلايا بأكملها تتحلل لتصبح الإفراز، ويجب استبدالها باستمرار.

اختبار استرجاعك

1. أ	9. ب	17. الغشاء القاعدى
2. ب	10. ب	18. المصفوفة)المادة الخارج خلوية(
3. c	11. نخر	19. متعدد القدرات
4. e	12. المزوتيليوم	20. بسيط
5. c	13. الفجوات	
6. أ	14. الألياف	
7. ب	15. الكولاجين	
8. e	16. العضلات الهيكلية	

بناء مفرداتك الطبية)قد تختلف الإجابات؛ هذه أمثلة مقبولة.(

1. الموت المبرمج للخلايا — الاستماتة)apoptosis(	6. كامل—هولكرين
2. الغضروف—خلية غضروفية	7. زجاجى—هيالين
3. خارجى—الأديم الظاهر	8. ميت—نخر
4. إنتاج—الكولاجين	9. متكون—نيوبلازيا
5. نسيج—علم الأنسجة	10. قشرة—حرشفية

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

1. الطهارة المريئية غير متقرنة.
2. جميعها تتصل بالغشاء القاعدى.
3. هناك بعض الحالات لعضلات هيكلية غير متصلة بالعظام.
4. تُنتج الإفرازات الغدية بواسطة خلايا البرنشيم؛ أما الستروما فهى نسيج ضام داعم غير إفرازى.
5. النسيج الدهنى استثناء؛ حيث تشكل الخلايا معظم حجمه.
6. توجد الخلايا الدهنية أيضًا فى النسيج الأرولى، إما منفردة أو فى مجموعات صغيرة.
7. تعمل الوصلات المحكمة بشكل رئيسى على تقييد مرور المواد بين الخلايا.
8. الورم هو نمو غير طبيعى للأنسجة، مثل الأورام؛ وتطورأنواع الأنسجة الناضجة من الأنسجة غير المتخصصة يُسمى التمايز.
9. الاستثارة هى خاصية لجميع الخلايا الحية، لكنها متطورة أكثر فى خلايا الأعصاب والعضلات.
10. الغشاء المحيط بالغضروف)Perichondrium(غير موجود فى الغضروف الليفى وفى الغضروف الزجاجى المفصلى.

الفصل ٦

أسئلة تسميات الأشكال

٥.٦ الخلايا الكيراتينية

٨.٦ الطبقة القرنية

١١.٦ عدم التماثل)أ(، الحدود غير المنتظمة)ب(، واللون)ج(. الصورة لا توفر معلومات كافية للحكم على قطر الآفة)د(.

اختبار استرجاعك

1. d	8. أ	14. ازرقاق
2. c	9. أ	15. حليمات الجلد
3. d	10. d	16. شمع الأذن
4. ب	11. التعرق غير الملحوظ	17. الغدد الدهنية
5. أ		18. طور التنامى)أناغين(
6. e	12. عضلة القائم	19. حليمة الجلد
7. c	13. تنظيف الجرح)إزالة الأنسجة الميتة(	20. الدرجة الثالثة

بناء مفرداتك الطبية)قد تختلف الإجابات؛ هذه أمثلة مقبولة.(

1. مادة—ميلانين	6. إصابة—آفة
2. أبيض—البهاق	7. أسود—ميلانوما
3. جلد—طب الجلد	8. ورم—سرطانة
4. عبر—التعرق	9. الظفر—الإيبو نيكيوم
5. نفس—زرع متجانس	10. الشعر—عضلة مرفعة الشعر

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

1. سرطان الخلايا القاعدية هو الشكل الأكثر شيوعًا لسرطان الجلد.
2. يرتبط الصلع النمطى بشكل خاص بجين على الكروموسوم X، ولكن أيضًا مع ما لا يقل عن 12 جينًا مرتبطًا بالكروموسوم X و112 جينًا على كروموسومات أخرى.
3. الكيراتين هو بروتين البشرة؛ وتتكون الأدمة بشكل رئيسى من الكولاجين.
4. يبدأ تخليق فيتامين د فى الخلايا الكيراتينية.
5. تتكاثر خلايا البشرة فى الطبقة القاعدية.
6. خلايا القشرة أيضًا ميتة؛ الخلايا الشعرية الحية الوحيدة موجودة فى وقريبًا من بصيلة الشعر.
7. لا يُعتبر تحت الجلد طبقة من طبقات الجلد.
8. الأعراق المختلفة لها تقريبًا نفس كثافة الخلايا الصباغية ولكن كميات مختلفة من الميلانين.
9. نقص جينى فى الميلانين يسبب البهاق، وليس الشحوب. الشحوب هو شحوب مؤقت وغير وراثى فى الجلد.
10. تتطور غدد العرق الأبوكرينية عند البلوغ.

الفصل السابع

أسئلة تسميات الأشكال

7.1 توفر النهايات العظمية العريضة مساحة سطحية لارتباط العضلاتوتفاصل العظام، بينما يقلل ضيق الجذع العظمى من الوزن.

7.6 الأماكن التى يقترب فيها العظم من الجلد، مثل عظم القص والوركين

7.7 عظم الصدغى، العظم الجدارى، وعدة عظام أخرى

7.9 عظم العضد، الكعبرة، الزند، عظم الفخذ، الظنبوب، الشظية

7.10 مفاصل الرضيع لا تزال غضروفية.

7.12 مناطق تكاثر الخلايا وتضخم الخلايا

اختبار استرجاعك

1. e	8. e	15. نقص كالسيوم الدم
2. أ	9. ب	16. الخلايا البانية للعظم)أوستيوبلاست(
3. d	10. d	17. كالسيترول
4. c	11. هيدروكسى أباتيت	18. هشاشة العظام
5. d	12. قنوات صغيرة)قنوات كناليكولى(	19. المتافيز
6. أ	13. تراكمى)تراكمى(	20. تلين العظام
7. d	14. حاصل ذوبان	

بناء مفرداتك الطبية)قد تختلف الإجابات؛ هذه أمثلة مقبولة.(

1. كالسيوم—نقص كالسيوم الدم
2. تدمير—خلايا هادمة للعظم)أوستيوكلاست(
3. تليين—تلين العظام)أوستيو مالاسيا(
4. نخاع—التهاب نخاع العظم)أوستيومايليتيس(
5. مستقيم—جراحة العظام)تقويم العظام(
6. العظم — العظمى
7. العظم—خلية عظمية
8. النمو—العمود العظمى
9. رمح—شوكة
10. مكان—خارجى

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

1 العظام القحفية المسطحة تحتوى على طبقة وسطى من العظم الإسفنجى تسمى ا لدبلوى.
2. يتم إزالة الغضروف واستبداله بالعظم، وليس تكلسه وتحويله إلى عظم.
3. أكثر أمراض العظام شيوعًا هو هشاشة العظام، وليس الكسور.
4. تطول العظام عند صفيحة المشاشة، وليس عند الغضروف المفصلى.
5. تتطور الخلايا الهادمة للعظم)أوستيوكلاستات(من الخلايا الجذعية فى نخاع العظم، وليس من الخلايا البانية للعظم)أ وستيو بلاستات(.
6. تعطى الخلايا البانية للعظم)أوستيو بلاستات(فقط الخلايا العظمية)أوستيوسايتات(، ولذلك فهى أحادية ا لقدرة.
7. الهيدروكسى أباتيت هو المعدن الرئيسى فى العظم؛ والبروتين الرئيسى هو ا لكولاجين.
8. تحتوى الأوستيونات على أوعية دموية فى قنواتها المركزية، وليس فى القنوات الدقيقة)كاناليكو لى(.
9. التأثير الرئيسى لفيتامين د هو امتصاص العظم، رغم أنه يعزز أيضًا ا لترسيب.
10. هرمون الغدة الجار درقية يعزز امتصاص العظم بشكل غير مباشر، وليس ا لترسيب.

الفصل ٨

أسئلة تسميات الأشكال

8.10 أى خمسة من هذه: العظام القذالية، الجداريّة، الوتديّة، الوجنيّة، والحن كيّة، والفك السفلى والفك العلوى

8.12 أى خمسة من هذه: العظام الجبهية، الدمعية، والوتدية، والورقية، وا لفك العلوى، والصدفة السفلية

8.25 تمزق هذا الرباط يسمح للطوق بالانزلاق إلى الأمام وتمزق السن للمح ور إلى الحبل الشوكى.

8.35 اليد البالغة تفتقر إلى صفائح المشاش، وهى مناطق النمو لـ عظام الطفل الطويلة.

١٤.٨ العظام الإسفينية الثلاثة وعظم المكعب فى الرسغ الخلفى مرتبة فى صف مشابه لعظام الرسغ البعيدة)المخمس، المثلث، العظم الرأسى، والعظم الخطافى(، مع المثلث الكبير)trapezium(الذى يقابل الع طم الإسفنجى المتوسط)العظم الإسفنجى الوسيط(proximal إلى الإصبع الأول فى كل حالة فى الصف القريب، عظم الزورقى)navicular(فى الرسغ يشبه إلى حد ما عظم الكعبرة)scaphoid(فى الرسغ، حيث يقع proximal إلى الإص بع الأول ويتصل بثلاثة عظام من الصف البعيد، لكن عظم العقب)calca neus(والعظم الكاحلى)talus(مختلفان جداً، حيث تم تكييفهما لتحمل الأحمال.

اختبار استرجاعك

1. ب
2. e
3. أ
4. e
5. أ
6. e
7. c
8. ب
9. e
10. ب
11. النقاط اليافوخية
12. الصُّدغ
13. الدُّروز
14. الوتدى
15. الحلقة الليفية)anulus fibrosus(
16. السن)dens(
17. الأدنى
18. العصعصى
19. الثقوب
20. الطولى الوسيط

بناء مفرداتك الطبية)قد تختلف الإجابات؛ هذه أمثلة مقبولة.(

1. الضلوع—بين الضلوع
2. الخوذة—الجمجمة
3. قوى—الأم الجافية
4. اللسان—تحت اللسان
5. صغير—عظمة صغيرة
6. الثدى—حُشّامِى
7. قدم—ثنائى القدم
8. جناح—جناحى
9. فوق—فوق الحجاجى
10. كاحل—مشط القدم

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

1. يمر عبر الثقبة الوداجية.
2. كل يد وكل قدم تحتوى على 14 سلامية.
3. حوض الأنثى أوسع وأضحل من حوض الذكر.
4. عظام الرسغ تقع فى قاعدة اليد، وليس فى المعصم الضيق. المنطقة.
5. يمكن تحسس عضلات الحفرة تحت الشوكية بسهولة على الظهر، أ سفل عمود الكتف.
6. ستستند كوعك على الزائدة الزندية.
7. الفقرات القطنية تحتوى على نتوءات عرضية ولكن لا تحتوى على أوجه ضلعية عرضية.
8. الحاجز الأنفى يتكون من العظم المحرقى واللوح العمودى لعظم الغر بالى.
9. *الذراع* تشير إلى المنطقة التى تحتوى فقط على عظم العضد؛ *الساق* تشير إلى المنطقة التى تحتوى على عظم الظنبوب والشظية.
10. هذه العظام الإضافية فى الجمجمة تسمى عظام الخياطة، وليست عظام ا لسمسمية.

الفصل التاسع

أسئلة تسميات الأشكال

9.2 المفصل اللولبى، لأن السن ليس عظمة

9.4 تتكون الارتفاق العانى من القرص الغضروفى بين العانى وأجزاء متجا ورة من عظمتين العانة.

9.5 المفاصل بين السلاميات لا تتعرض لضغط كبير الإدراك.

9.7 $MA = 1.0$. إن تحريك نقطة الارتكاز إلى اليسار سيزيد من MA لهذا الرافعة، بينما ستظل الرافعة من الدرجة الأولى.

٩١.٩ الأطلس)C1(

اختبار استرجاعك

1. c
2. ب
3. أ
4. e
5. c
6. c
7. أ
8. d
9. ب
10. d
11. السائل الزليلى
12. الكيس الزلالى
13. المفصل المحورى
14. علم الحركة
15. الرباط السنخى)gomphosis(
16. مسنن
17. التمديد
18. نطاق الحركة
19. القرص المفصلى
20. العظم الكاحلى)Talus(

بناء مفرداتك الطبية)قد تختلف الإجابات؛ هذه أمثلة مقبولة.(

1. بعيدًا — الاختطاف)abduction(
2. المفصل — التهاب المفاصل)arthritis(
3. متميز بـ — الصليبى)cruciate(
4. الحرف X — الصليبى)cruciate(
5. الساق — الكاحلى الساقى)talocrural(
6. للتوجيه — التقريب)adduction(
7. الحركة — علم الحركة)kinesiology(
8. القمر—الهلالة
9. للرجوع إلى الخلف—الاستلقاء
10. للشد—الإبراز

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

1. يحدث التهاب المفاصل التنكسى)الفصال العظمى(لدى الجميع تقريبًا بعد سن معين؛ أما ال تهاب المفاصل الروماتويدى فهو أقل شيوعًا.
2. يدرس أخصائى الحركة حركات المفاصل؛ ويعالج أخصائى الروماتيزم التهاب ا لمفاصل.
3. المفاصل الزليلية هى مفاصل متحركة بالكامل)ديارثروز(ومفاصل شبه متحركة)أمفيارثروز(، لكنها ليست أبدًا مفاصل ثابتة)سينارثروز(.
4. لا يوجد غضروف الهلال فى المرفق.
5. تتضمن هذه الحركة فرط تمديد الكتف.
6. الأربطة الصليبية موجودة فى الركبة.
7. الرباط الدائرى مرتخى إلى حد ما وربما لا يثبت رأس عظم الفخذ.
8. المفاصل العقدية هى مفاصل حرة الحركة)ديارثروز(.

B.5 الرئتان، القلب، الكبد، المعدة، المرارة، والطحال، من بين أعضاء أخ
رى
B.8 عضلات القصبة الترقوية الخشائية
B.11 الخلفى
B.13 الدهون)النسيج الدهنى(
ب.18 خمسة: وتر واحد فى الجزء القريب)عند عظم العضد(وأربعة فى الجزء البعيد) فى اليد(
ب.19 العلامة ستكون قريبة من حيث ينتهى السهم المؤدى إلى النتوء الإ برى لعظم الكعبرة فى الشكل ب.19ب.
ب.20 العلامة ستكون قريبة من حيث ينتهى السهم المؤدى إلى عضلة المستق يم الفخذى؛ والعضلة المتوسطة الواسعة تقع أعمق من هذه.
ب.21 الشظية
ب.24 لا يوجد مثل هذا العظم؛ الإصبع الأول)الإبهام الكبير(يحتوى فقط على السلا مية القريبة والبعيدة.
ب.25 إجابات اختبار العضلات كما يلى:

1. f	11. x	21. k
2. ب	12. m	22. d
3. k	13. n	23. f
4. p	14. e	24. ب
5. h	15. g	25. أ
6. y	16. v	26. u
7. ز	17. f	27. ح
8. دبليو	18. c	28. i
9. c	19. x	29. g
10. أ	20. دبليو	30. q

الفصل 11

أسئلة تسميات الأشكال

11.1 تُميز الخطوط العرضية العضلة عن العضلة الملساء؛ النوى المتعددة المجاورة لغشاء البلازما والألياف المتوازية تُميزها عن كل من العضلة القلبية والعضلة الملساء.
11.2 يجب أن يثير التحفيز الكهربائى المنتشر عبر أنبوب T فتح بوابات الكا لسيوم فى الخزانات الطرفية.
11.13 هناك حاجة إلى ATP لضخ Ca^{2+} مرة أخرى إلى الشبكة الساركوبلازمية عن طريق النقل النشط ولتحفيز كل رأس ميوسين على تحرير الأك تين حتى يتمكن الساركومير من الاسترخاء.
11.16 العضلة الألوية الكبرى وعضلة الفخذ الرباعية
منحنى توتر العضلة سينخفض تدريجياً بينما سيرتفع منحنى طول العضلة.

اختبار استرجاعك

1. أ	8. c	15. أسيتيل كولين
2. c	9. e	16. الميوغلوبين
3. ب	10. ب	17. أقراص Z
4. d	11. عتبة	18. التورمات
5. c	12. أكسدى	19. توتر العضلات
6. c	13. الأكياس النهائية	20. الانقباض الم تساوى الطول
7. e	14. الميوسين	

بناء مفرداتك الطبية)قد تختلف الإجابات؛ هذه أمثلة مقبولة.(

1. ضعيف—الوهن العضلى
2. ذاتى—إيقاعى ذاتى
3. غير طبيعى—ضمور
4. نفس الشيء—متساوى القياس
5. الطول—متساوى القياس
6. عضلة—خلية عضلية
7. اللحم—الساركوليما
8. الزمن—الزمنى
9. التوتر—متساوى التوتر
10. النمو—ضمور

9. يُفرز السائل الزليلى بواسطة الغشاء الزليلى لكبسولة المفصل ويملأ الجراب الزليلى.
10. السن ليس عظمة.

الفصل 10

أسئلة تسميات الأشكال

10.4 العضلة العضدية والرأس الجانبى للعضلة ثلاثية الرؤوس العضدية لهما ارتباطات مبا شرة؛ أما العضلة ذات الرأسين العضدية والرأس الطويل للعضلة ثلاثية الرؤوس الع ضدية فلهما ارتباطات غير مباشرة.
10.8 العضلة الوجنية الكبرى، رافع الجفن العلوى، وعضلة حول الفم

10.16 العضلة الصدرية الصغرى، العضلة المنشارية الأمامية، وجميع طبقات العضلا ت بين الأضلاع العلوية الثلاث
10.27 *التيرس* يشير إلى الشكل الدائري أو الحبل العضلى للعضلة الأولى، و *الكوادراتوس* يشير إلى الشكل الرباعى للعضلة الثانية.
10.28 الجزء)ح(يمثل مقطعًا عرضيًا مقطوعًا عالياً جدًا على الساعد ليشم ل هذه العضلات.
10.34 صعود السلالم، المشى، الجرى، أو ركوب الدراجة
10.38 عضلة السوليوس

اختبار استرجاعك

1. ب	9. d	16. مثلث الجهاز ال بولى التناسلى
2. ب	10. c	17. الخط الأبيض
3. أ	11. عضلة الخد)بوكسيناتور(	18. المساعد
4. c	12. حزمة	19. ثنائى الريشة
5. e	13. المحرك الرئيسى)المُ حرك المتحكم(	20. المصرة
6. e	14. أوتار المأبض	
7. ب	15. رباط المثنية	
8. أ		

بناء مفرداتك الطبية)قد تختلف الإجابات؛ هذه أمثلة مقبولة.(

1. الرأس—العضلة المنشارية الراسية)سبلينيا س كابيتيس(
2. العمل—المساعد
3. حزمة—حزمة ألياف
4. شفاه—رافعة الشفة العليا
5. أسفل الظهر—العضلة المربعة القطنية lumborum
6. فأر—عضلة
7. عضلة—النسيج المحيط بالألياف العضلية)إبرى ميسيم(
8. كتف—عضلة الأوموهيويد
9. ريشة—ثنائية الريش
10. ثالث—عضلة البيرونيوس تيرتيوس

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

1. النسيج الضام الذى يحيط بألياف العضلات الفردية هو الإندوميس يوم.
2. كان يُعتقد سابقًا أن العضلة الدائرية هى مصرة لكنها لم تعد تُفسر على هذا النحو.
3. العضلة ذات الرأسين العضدية هى عضلة مغزلية الشكل.
4. المساعد)المتآزر(يساعد العضلة الفاعلة فى وظيفتها؛ ولا يعارض العضلة ا لفاعلة.
5. العديد من عضلات الهيكل العظمى تتلقى تعصيبًا من الأعصاب القحفية)تلك الم وجودة فى الرأس والرقبة(.
6. عادةً، لا يلزم بذل جهد عضلى للزفير.
7. تقوم أوتار الركبة بثنى الركبة ولذلك لن تساعد فى رفع الجسم إلى الخط وة التالية.
8. العصب الوجهى يعصب 16 من عضلات الوجه المدرجة فى هذا الف صل. أما العصب الثلاثى التوائم فيعصب 6 عضلات مدرجة، لكنها ع ضلات للمضغ والبلع، وليست للتعبير الوجهى.
9. عضلة المقرب للإبهام هى الأقوى بكثير من بين العضلات الثلاث المذ كورة)وهى مهمة فى قوة قبضة اليد(، لكنها ليست مذكورة أولاً.
10. هم على جانبى عظم الطنبوب ويعملون كأضداد.

أطلس ب

أسئلة تسميات الأشكال

ب.1 عضلة محيطية الشفاه؛ العضلة شبه المنحرفة

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

1. قد يغذى العصبون الحركى ألف أو أكثر من ألياف العضلات؛ وتتكون الوحدة الحركية من عصبون حركى واحد وجميع ألياف العضلات التى يعصبها.
2. العصبونات الحركية الجسدية لا تعصب عضلة القلب.
3. ألياف التحلل السكرى السريع تتعب بسرعة نسبياً.
4. تمتد الخيوط الرقيقة جيداً داخل نطاقات A، حيث تتداخل مع الخيوط السميكة.
5. الخيوط الرقيقة والسميكة لا تقصر، بل تنزلق فوق بعضها البعض.
6. توجد الخيوط العضلية السميكة والرقيقة لكنها غير مرتبة بطريقة تُنتج الخطوط العرضية.
7. فى الظروف الطبيعية، نادراً ما يصل العضل إلى التشنج الكامل أو لا يصل إليه أبداً.
8. حتى الإثارة ستكون مستحيلة بدون ATP، لأن ATP يدفع مضخات النقل النشط)Na^+–K^+(التى تحافظ على جهد الغشاء وقابليته للإثارة.
9. ينتج العضل معظم ATP خلال هذا الوقت عن طريق التخمر اللاهوائى، الذى يولد اللاكتات؛ ولا يستهلك اللاكتات.
10. الذاتية الإيقاع محدودة على العضلات الملساء الأحادية الوحدة.

الفصل 12

أسئلة تسميات الأشكال

12.9 سرعة توصيله بطيئة نسبياً، لكنه ذو قطر صغير ويساهم بحجم قليل نسبياً فى النسيج العصبى.

12.25 تغير جهد EPSP واحد هو حوالى 0.5 مللى فولت فقط. يتطلب التغير حوالى 15 مللى فولت للوصول إلى العتبة وجعل العصبون يطلق إشارة.

12.30 يفسر الجهاز العصبى المركزى المنبه على أنه أكثر شدة إذا استقبل إشارات من عصبونات حسية ذات عتبة عالية مقارنةً باستقباله الإشارات فقط من الخلايا العصبية ذات العتبة المنخفضة.

12.32 دائرة مترددة، لأن خلية عصبية مبكرة فى الدائرة يتم إعادة تحفيزها باستمرار

اختبار استرجاعك

1. e
2. c
3. d
4. أ
5. c
6. e
7. d
8. أ
9. d
10. ب
11. الوارد
12. التوصيل
13. الانكسار المطلق- فترة التنفس
14. التغصنات
15. الخلايا قليلة التغصن)أوليغودندروسايتس(
16. غمد المايلين الفجوات
17. تل العصب، بداية- الجزء القطاعى
18. نورإبينفرين
19. المنطقة المسهلة
20. المنظمات العصبية

بناء مفرداتك الطبية)قد تختلف الإجابات؛ هذه أمثلة مقبولة.(

1. إلى الأمام—أنتيروجريد
2. للمس—المشبك العصبى
3. نجم—خلايا نجمية
4. شجرة—تشعب عصبى
5. يحمل—وارد
6. عقدة—عقدة عصبية
7. يمشى—رجعى
8. عصب—دبق عصبى
9. صلب—تصلب
10. جسم—جسدى

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

1. العصبون لا يمتلك أكثر من محور عصبى واحد أبداً.
2. الخلايا قليلة التغصن فى الدماغ تؤدى نفس وظيفة خلايا شوان فى الجهاز العصبى المحيطى.
3. تركيز الصوديوم خارج الخلية أكبر من تركيزه داخل الخلية.
4. جزء صغير فقط من تبادل الصوديوم والبوتاسيوم فى العصبون يحدث عبر غشاء البلازما.
5. تظل العتبة نفسها لكن EPSP يقرب جهد الغشاء من العتبة.
6. الفترة المطلقة لل refractor تحدد الحد الأعلى لتردد الإطلاق.
7. تأثير الناقل العصبى يختلف من مكان لآخر اعتماداً على نوع المستقبل الموجود.
8. تنتقل الإشارات بسرعة عبر المقاطع بين العقد وتتباطأ عند كل فجوة فى غمد المايلين.
9. التعلم ينطوى على تعديل المشابك العصبية للخلايا العصبية الموجودة، وليس زيادة فى عدد الخلايا العصبية.
10. لا يمكن للخلايا العصبية أن تخضع للانقسام الخلوى لتعويض الخلايا المفقودة، على الرغم من حدوث تعويض محدود من خلال تكاثر وتمايز الخلايا الجذعية.

الفصل 13

أسئلة تسميات الأشكال

13.5 لو كان T10، لما وُجد الحزمة الإسفينية؛ فهى موجودة فقط من T6 فما فوق.

13.10 تقع فى القرن الأمامى للحبل الشوكى.

13.13 هى ألياف واردة، لأنها تنشأ من الجذر الخلفى للعصب الشوكى.

13.15 قطع عصب الحجاب الحاجز الفِرينى الواحد يشل الحجاب الحاجز على الجانب نفسه؛ وقطع كلاهما يشل الحجاب الحاجز بأكمله ويتسبب فى توقف التنفس.

13.25 الخلايا العصبية الحركية قادرة فقط على إثارة العضلات الهيكلية)جهد نهاية اللوحة دائماً مثيرة(. لمنع انقباض العضلات، من الضرورى تثبيط الخلية العصبية الحركية على مستوى الجهاز العصبى المركزى)النقطة 6(.

13.26 ستظهر تأخيراً تشابكياً أكبر، لأن هناك المزيد من المشابك فى المسار.

اختبار استرجاعك

1. هـ
2. ح
3. د
4. د
5. هـ
6. ح
7. ح
8. أ
9. هـ
10. ب
11. العقد العصبية
12. الفرع
13. الحبل الشوكى المخيخى
14. التمديد المتقاطع
15. الألياف داخل المغزل العضلى
16. الحجاب الحاجز
17. التقاطع
18. الإحساس الذاتى
19. الجذر الخلفى
20. الطنبوبى، الشطوى المشترك

بناء مفرداتك الطبية)قد تختلف الإجابات؛ هذه أمثلة مقبولة.(

1. العنكبوتى—العنكبوتى
2. ذيل—ذيل الحصان
3. مقابل—مقابل الجانب
4. وتد—مُسْتَوْرَن
5. نفس الجانب—نفس الجانب)إبسيلاترال(
6. حجاب حاجز—فرينيك
7. رقيق—الأم الحنون)بيا ماتر(
8. الذات—الإحساس الذاتى)بروبرسبيش(
9. فرع—راموس
10. سقف—تيكتوسبينال

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

1. الحزمة الرقيقة هى مسار صاعد)حسى(.
2. تنتهى فى المنطقة القطنية العليا من العمود الفقرى.
3. كل جزء من الحبل الشوكى يحتوى على عدة جذور صغيرة.
4. جميع الأعصاب الشوكية هى أعصاب مختلطة؛ لا يوجد منها أعصاب حسية بحتة أو حركى.
5. الغشاء الجافية مفصول عن العظم بمساحة فوق الجافية مملوءة بالدهون.
6. قرون الحبل الشوكى هى المادة الرمادية.
7. المسارات القشرية الشوكية هى مسارات هبوطية)حركية(، وليست حسية.
8. تتداخل المناطق الجلدية مع بعضها البعض بنسبة تصل إلى 50٪.
9. بعض المنعكسات الجسدية يتم توصيلها بشكل أساسى عبر جذع الدماغ والمخيخ.
10. العديد من دوائر المنعكسات الجانبية نفسها متعددة المشابك أيضًا.

7. d
8. d
9. أ
10. c
11. أدرينيرجى
12. تعصيب مزدوج
13. نغمة ذاتية
14. العصب المبهم
15. معوى
16. نورإبينفرين
17. الجهاز الودى
18. قبل العقدة، بعد العقدة
19. cAMP
20. نغمة الأوعية الدموية

بناء مفرداتك الطبية)قد تختلف الإجابات؛ هذه أمثلة مقبولة.(

1. الضغط—انعكاس باروريسبونس
2. مذيب—مضاد للتعاطف
3. الجدار—داخل الجدار
4. القاعدة—ذاتية الحركة
5. الأذن—أذنى
6. الإحساس—الباراسمبثاوى
7. الكلى—الكظرية
8. الأعضاء الداخلية—الحشوية
9. معًا—السمبثاوى
10. الأعضاء الداخلية—حشوى

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

1. كلا النظامين نشطان دائمًا فى نفس الوقت.
2. الأوعية الدموية الجلدية تستقبل فقط الألياف الودية.
3. فى التغذية الراجعة الحيوية وظروف أخرى، يمكن التحكم الطوعى المحدود بالجهاز العصبى الذاتى.
4. القسم الودى يثبط عملية الهضم.
5. القسم الودى يحتوى على بعض الألياف بعد العقدة الكولينية، على الرغم من أن معظمها أدرينالية.
6. يمكن أن يحدث التخلص من الفضلات بواسطة ردود الفعل الشوكية الذاتية دون ضرورة إشراك الدماغ.
7. جميع الألياف اللاودية كولينية.
8. القسم الودى يحتوى على تفرعات عصبية أكثر وبالتاليه تأثيرات أوسع وأقل تخصصًا للأعضاء مقارنة بالقسم اللاودى.
9. العصب تحت اللسانى لا يحمل أليافًا لاودية.
10. لديهم تأثيرات متضادة على القزحية.

الفصل 14

أسئلة تسميات الأشكال

14.9 الإشارات فى الحزمة الإسفينية تصعد إلى النواة الإسفينية فى الجزء)ح(، والإشارات فى الحزمة الرقيقة تصعد إلى النواة الرقيقة المجاورة. كلاهما يعبران معًا إلى الجانب المقابل-المسار اللمينى الوسيط فى الأجزاء)ب(و)أ(ويسلك هذا الطريق إلى المهاد.

14.10 تم تعليم التكوين الشبكى فى جميع أجزاء الشكل الثلاثة.

14.14 تعبر المسارات الاتصالية أيضًا من خلال الوصلات الأمامية والخلفية الموضحة فى الشكل 14.2.

14.15 التغضنات؛ تمتد المحاور العصبية إلى الأسفل داخل المادة البيضاء.

14.22 مناطق بها العديد من العضلات الصغيرة

اختبار استرجاعك

1. c
2. أ
3. e
4. أ
5. ب
6. c
7. أ
8. d
9. e
10. e
11. الجسم الثفنى
12. البطينات،
السائل الدماغى الشوكى
13. شجرة الحياة
14. العصب المبهم
15. صفيرة المشيمية
16. قبل المركزى
17. الجبهة
18. مناطق الارتباط
19. تصنيفى
20. العصب الوجهى)السابع(، العصب الثلاثى التوائم)الخامس(

بناء مفرداتك الطبية)قد تختلف الإجابات؛ هذه أمثلة مقبولة.(

1. neuralgia —ألم
2. hydrocephalus —رأس
3. cerebrospinal —دماغ
4. corpus callosum —جسم
5. دماغ—التهاب الدماغ
6. تسجيل—تخطيط الدماغ الكهربائى
7. جزيرة—جزيرة الدماغ)إنسولا(
8. عين—العصب المحرك للعين)العصب العينى الحركى(
9. بكرة—البكرة)تروكليا(
10. صغير—السويقة

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

1. العصب البصرى هو عصب حسى بحت. تتحكم فى حركات العين الأعصاب المحركة للعين)العصب المحرك للعين(، والعصب البكرى، والعصب المبعد.
2. لا تتطور نصفى الكرة المخية من نسيج العرف العصبى.
3. المخ الأوسط يقع أمام الجسر.
4. منطقتا بروكا وفيرنيك تقعان فى نفس الجانب، كلاهما فى نصف الكرة الأيسر لدى معظم الناس.
5. يتم إنتاج السائل الدماغى الشوكى أيضًا بواسطة البطانة العامة للإبينديم فى بطينات الدماغ وفى الفراغ تحت العنكبوتية.
6. السمع وظيفة الفص الصدغى؛ أما الرؤية فتقع فى الفص القذالى.
7. يتم التحكم فى التنفس بواسطة النوى فى الجسر والنخاع المستطيل.
8. العصب الثلاثى التوائم يحمل إشارات حسية من أكبر منطقة فى الوجه.
9. العصب المبهم)العصب القحفى العاشر(يعصب أعضاء تجويف الصدر والبطن والحوض.
10. يحتوى المخيخ على أكثر من نصف جميع خلايا الدماغ العصبية.

الفصل 15

أسئلة تسميات الأشكال

15.4 لا؛ يتم التحكم فى الشهيق والزفير بواسطة الجهاز الحركى الجسدى والعضلات الهيكلية.

15.5 جسم الخلية العصبية الحركية الجسدية موجود فى القرن الأمامى وجسم الخلية العصبية قبل العقدة الودية يوجد فى القرن الجانبى.

15.7 العصب المبهم

15.9 تتوسع الحدقتان لأن الخوف يزيد من النشاط الودى، مما يحفز التوسع.

اختبار استرجاعك

1. ب
2. c
3. e
4. e
5. أ
6. e

الفصل 16

أسئلة تسميات الأشكال

16.1 نعم؛ يتم الشعور بلمستين بشكل منفصل إذا كانت تفصل بين حقلين استقباليين منفصلين.

16.9 الهامش السفلى للمنطقة البنفسجية)"كل الصوت"(سيكون أعلى فى ذلك النطاق الترددى.

16.15 هى خلايا الشعر الخارجية، التى تعمل على "ضبط قوقعة الأذن" وتحسين التمييز بين الأصوات ذات النغمات المختلفة.

16.16 ستعارض حركة غشاء الطبلة إلى الداخل، وبالتالى تقلل من كمية الاهتزاز المنقولة إلى الأذن الداخلية.

16.24 هذا سيمنع الدموع من التصريف إلى قنوات الدمع، مما يؤدى إلى زيادة رطوبة العينين.

16.25 العصب القحفى الثالث، لأنه يتحكم فى حركات العين أكثر من العصب الرابع أو السادس.

16.30 إنها العين اليمنى. القرص البصرى دائمًا يكون وسطيًا بالنسبة للبقعة المركزية، لذا يجب أن تكون هذه رؤية الجانب الأيسر للمراقب والجانب الأيمن للموضوع.

16.42 تقريبًا 68:20:0، والأصفر

16.45 سيسبب العمى فى النصف الأيسر من المجال البصرى. ولن يؤثر على ردود الفعل البصرية.

اختبار استدعائك

1. أ
2. c
3. ب
4. أ
5. هـ
6. هـ
7. د
8. ح
9. ح
10. ب
11. البقعة المركزية)fovea centralis(
12. العقدة العصبية)ganglion(
13. الفوتوبسين
14. الأوتوليثات
15. الخلايا الشعرية الخارجية
16. الركاب)stapes(
17. التلال السفلية)inferior colliculi(
18. الخلايا القاعدية
19. البصلة الشمية
20. الألم المحال

بناء مفرداتك الطبية)قد تختلف الإجابات؛ هذه أمثلة مقبولة.(

1. اثنان—ثنائى الأذن	6. بقعة—ماكولا ساكولى
2. التقاطع—نصف التقاطع	7. ألم—مستقبل الألم)نوسيسيبتر(
3. نصف—نصف التقاطع	8. داكن—سكوتوبيك
4. دموع—الدمعية	9. عدوى—تعقيم)أسبسيس(
5. حجر—أوتوليثيك	10. شعر—بيريتريشيال

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

1. تنتهى هذه الألياف فى النخاع المستطيل.
2. يتم إدراكها فى نصف الكرة الأيمن بسبب التقاطع العصبى)التقاطع(.
3. بسبب نصف التقاطع العصبى، يستقبل كل نصف كرة إشارات من كلتا العينين.
4. المستقبلات الكيميائية التى تراقب كيمياء الدم، على سبيل المثال، هى مستقبلات داخلية)إنتروريسبتورز(.
5. الحجرة الخلفية، المساحة بين القزحية والعدسة، مملوءة بالماء المائى)الأكيوس هيومور(.
6. الألياف النازلة المسكنة تمنع الإشارات التى وصلت إلى القرن الظهرى للحبل الشوكى.
7. العصب القحفى الثامن يحمل إشارات السمع والتوازن معًا.
8. تجويف الطبلة مملوء بالهواء.
9. تطلق القضبان الغلوتامات فى الظلام وتتوقف عند تعرضها للضوء.
10. العصبان التروكليار والأبدوسينس يتحكمان فى العضلة المائلة العلوية والعضلة المستقيمة الجانبية على التوالى.

الفصل 17

أسئلة تسميات الأشكال

17.1 القلب، الكبد، المعدة، الأمعاء الدقيقة، المشيمة)أى ثلاثة منها(

17.4 النخامية الخلفية)العصب النخامى(

٩١.٧١ تدخل الستيرويدات إلى الخلية المستهدفة؛ فهى لا ترتبط بمستقبلات الغشاء أو تنشط الرسل الثانوية.

٤٢.٧١ مثل هذا الدواء سيمنع تخليق الليكوترين وبالتالى يثبط الاستجابات التحسسية والالتهابية.

اختبار استرجاعك

1. ب	9. أ	16. الغدد الصماء بين الخلوية
2. d	10. e	17. التثبيط بالتغذية الراجعة السلبية
3. أ	11. الغدة النخامية الأمامية)الغدة النخامية الأمامية(	18. النظام البابى للنخامية
4. c	12. التيروزين	19. مُتَسَامِح
5. c	13. ضخامة الأطراف	20. زيادة التنظيم
6. c	14. الكورتيزول	
7. d	15. الجلوكوكورتيكويدات	
8. c		

بناء مفرداتك الطبية)قد تختلف الإجابات؛ هذه هى أمثلة مقبولة.(

1. غدة—الغدة النخامية الأمامية)أدينوهوبوفيزيس(	6. يشبه—الغدة الدرقية
2. الصفراء—كوليسيستوكينين	7. ملىء—الكلية الكبيبية
3. تدفق عبر—داء السكرى	8. مفضل—البروجستيرون
4. عشرون—إيكوسانويد	9. دوران—الهرمون المنشط للجونادوتروبين
5. الأصفر—الهرمون الملوتن)الليوتينيزينغ(	10. البول—الجلوكوز فى البول)جلوكوزوريا(.

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

1. ستزداد إفرازات الغونادوتروبين بسبب نقص التثبيط السلبى من الخصيتين.
2. لا يمكن للبروتينات السكرية الدخول إلى الخلية المستهدفة؛ فهى ترتبط بمستقبلات سطح غشاء البلازما.
3. يمكن تخليق الثيروجلوبولين، لكنه لا يمكن أن يُيودن، لذلك لا يتم إنتاج هرمون الغدة الدرقية.
4. يمكن للأورام أن تسبب فرط الإفراز لكنها قد تدمر أيضًا الخلايا الصماء وتؤدى إلى نقص الإفراز.
5. تُفرز الهرمونات أيضًا من القلب والكبد والكلى وأعضاء أخرى لا تُعتبر عادةً غددًا.
6. معظم حالات داء السكرى ناتجة عن عدم حساسية للإنسولين، وليس نقصًا فى الإنسولين.
7. تتقلص الغدة الصنوبرية والغدة الزعترية مع التقدم فى العمر؛ فهما أكبر حجمًا عند الأطفال مقارنةً بما هما عليه فى مراحل لاحقة من الحياة.
8. بدون اليود، لا يوجد هرمون الغدة الدرقية)TH(؛ وبدون هرمون الغدة الدرقية، لا يمكن حدوث تثبيط بالتغذية الراجعة السلبية.
9. النسيج فى المركز هو لب الغدة الكظرية.
10. هناك أيضًا خصيتان، مبيضان اثنان، وأربع غدد جارات الدرقية.

الفصل ٨١

أسئلة تسميات الأشكال

18.1)يتطلب الإجابة على هذا وضع علامات على الرسم التوضيحى.(

18.4 يمثل المركز الغائر الموقع السابق للنواة.

18.5 الهيموغلوبين يتكون من ارتباط غير تساهمى لأربع سلاسل بروتينية المجموعة البروستيتية هى وحدة الهيم فى كل من السلاسل الأربع.

18.18 *ميلو-* يشير إلى نخاع العظم، حيث تتطور هذه الخلايا.

18.19 على الرغم من كثرتها، فإن هذه الكريات البيضاء غير ناضجة وغير قادرة على أداء أدوارها الدفاعية.

18.21 لا يحتوى سدادة الصفائح الدموية على شبكة الفيبرين التى توجد فى الجلطة الدموية.

18.22 سيؤثر فقط على الآلية الذاتية.

18.23 فى كل من تجلط الدم وتضخيم الإشارات الهرمونية، يكون ناتج خطوة التفاعلهو إنزيم يحفز إنتاجعدد أكبر من جزيئات المنتج التالى. وبالتالى ، هناك زيادة هندسية فى عدد جزيئات المنتج فى كل خطوةوفى النهاية، نتيجة نهائية كبيرة من بداية صغيرة.

18.25 النظرية القديمة للتفريغ كانت أن العديد من الاضطرابات تسببها بواسطة "الدم الفاسد"، الذى يمكن إزالته بدون ألم بواسطة الأدوية العلقات. الممارسة الحديثة هى الاستفادة من مضادات التخثر فى لعاب العلقة لتعزيز تدفق الدم إلى نسيج ما أو لإذابة وإزالة الجلطات التى تكونت بالفعل.

اختبار استرجاعك

1. ب	9. d	16. تَوَقُّف النّزيف
2. c	10. c	17. مَرَضُ الخَلايا المنجلية
3. c	11. تَكَوُّن الدّم	18. تَكَوُّن كَثِيف للدم
4. أ	12. الهيماتوكريت)حجم الخلايا المُضغوطة(	19. فيتامين 12B
5. ب	13. ثرومبوبلاستين	20. إريثروبويتين
6. d	14. مُجَمّعَات	
7. d	15. الهيموفيليا	
8. c		

بناء مفرداتك الطبية)قد تختلف الإجابات؛ هذه هى أمثلة مقبولة.(

1. بدون—فقر الدم	6. أبيض—كريات الدم البيضاء
2. منتج—اليريثروبلاست	7. نقص—قلة الكريات البيضاء
3. أحمر—كريات الدم الحمراء	8. وريد—سحب الدم
4. تجمع—تراص الدم	9. تكوين—تكوين الدم
5. دم—توقف النزيف	10. جلطة—تخثر الدم

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

1. معظم الحجم عادةً ما يكون بلازما الدم.
2. يسبب فرط البروتين فى الدم احتباس المزيد من الماء فى الجهاز الدورى ويرفع ضغط الدم.
3. نقص الأكسجين هو نتيجة لفقر الدم، وليس سببه.
4. التخثر)التجلط(هو أحد آليات إيقاف النزف، لكن إيقاف النزف يشمل آليات أخرى)تشنج الأوعية الدموية وسدادة الصفائح الدموية(، لذلك فهو ليس مرادفًا للمصطلحين الآخرين.
5. يمكن أن يكون الأب إذا كان متغاير الزيجوت لفصيلة الدم A $(I^A i)$ وكانت الأم متغايرة الزيجوت لفصيلة الدم B $(I^B i)$ وكلاهما متغاير الزيجوت

لفصيلة Rh ‏(*Dd*). يمكن للطفل حينها أن يرث *ii* و *dd*, ويكون لديه النوع الظاهرى O–.

6. أكثر خلايا الدم البيضاء وفرة هى العدلات.
7. تجلط الدم يتطلب Ca^{2+} فى عدة مراحل.
8. حتى الصفائح الدموية تنشأ فى النهاية من الخلايا الجذعية المكونة للدم.
9. يتم إخراج الهيم؛ ويتم تفكيك الجلوبين إلى أحماض أمينية يمكن إعادة استخدامها.
10. فى اللوكيميا، هناك فائض من خلايا الدم البيضاء. نقص خلايا الدم البيضاء هو قلة الكريات البيضاء.

الفصل 19

أسئلة تسميات الأشكال

19.1 كلاهما؛ يستقبلان الشرايين الرئوية من الدورة الدموية الرئوية والشرايين القصبية من الدورة الدموية الجهازية.

19.2 إلى اليسار

19.7 التراكيب اللحمية

19.12 الأذين الأيمن

19.14 يضمن ذلك عدم حدوث تراكم الموجات والتشنج، مما يضمن استرخاء وامتلاء حجرات القلب.

19.19 تمنع تدلى صمامات الأذين والبطين أثناء انقباض البطين.

19.20 هذه هى النقطة التى يفتح عندها الصمام الأورطى ويتم فيها ضخ الدم إلى الأبهر، مما يرفع ضغط الدم فيه.

اختبار استرجاعك

1. d	9. أ	16. موجة T
2. ب	10. c	17. العصب المبهم
3. d	11. الانقباض، الانبساط	18. احتشاء عضلة القلب
4. أ	12. جهازى	19. بطانة القلب
5. أ	13. الأذين البطينى (التاجى) الأخدود	20. نتاح القلب
6. d	14. Na^+	
7. d	15. وصلات الفجوة	
8. c		

بناء مفرداتك الطبية (قد تختلف الإجابات؛ هذه أمثلة مقبولة.)

1. مدخل—الأذين	6. الحلمة—حليمى
2. بطىء—بطء القلب	7. نصف - نصف قمرى
3. القلب—طب القلب	8. سريع—تسرع القلب
4. تاج—تاجى	9. وعاء—وعائى
5. قمر—شبه قمرى	10. بطن—بطين

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

1. الدورة التاجية هى جزء من الدورة الجهازية؛ القسم الآخر هو الدورة الرئوية.
2. لا توجد صمامات عند فتحات الوريدين الأجوفين.
3. يحدث ثلثا ملء البطين قبل الأذينين. لمثانة. تصيف الأذينات حوالى 31٪ فقط من الدم الذى يملأ البطينين. البطينين.
4. تؤثر الأعصاب المبهمة على معدل ضربات القلب ولكن ليس على قوة الانقباض.
5. ارتفاع 2CO وانخفاض الرقم الهيدروجينى يسرعان من معدل ضربات القلب.
6. يحدث الصوت الأول للقلب فى وقت مركب QRS.
7. للقلب منظم ضربات داخلى خاص به وسيستمر فى النبض؛ الأعصاب تغير فقط معدل ضربات القلب.
8. سيحدث ذلك نتيجة لربط الأوردة الرئوية، وليس الشرايين الرئوية.
9. تتمتع خلايا عضلة القلب (الكارديوميوسايتس) بجهد راحة مستقر عندما تكون فى حالة راحة.
10. تخطيط القلب الكهربائى هو سجل مركب للنشاط الكهربائى لكامل عضلة القلب، وليس سجلاً من خلية عضلية واحدة. يبدو مختلفًا تمامًا عن جهد الفعل.

الفصل 20

أسئلة تسميات الأشكال

20.2 الأوردة تتعرض لضغط أقل من الشرايين وتحتاج إلى مرونة أقل.

20.5 الغدد الصماء، الكلى، الأمعاء الدقيقة، وضفائر المشيمية فى الدماغ

20.8 الأوردة تحتوى على نسيج عضلى ومرن أقل، لذا فهى تتمدد بسهولة أكبر من الشرايين.

20.10 التشابكات الشريانية: الحلقة الشريانية فى الدماغ، الدورة الدموية البطنية (celiac circulation)، التى تحيط برؤوس العضد والفخذ، والأقواس الشريانية فى اليد والقدم. التشابكات الوريدية: الأوردة الوداجية، نظام الأزيجوس، الأوردة المساريقية، وشبكات الأوردة فى اليد والقدم. الأنظمة البابية: النظام البابى الكبدى والنظام البابى الغدى (خارج هذا الفصل). قد تختلف الإجابات.

20.20 لن يحدث شىء إذا رفع إصبعه من النقطة O لأن الصمام فى تلك النقطة سيمنع تدفق الدم إلى الأسفل وملء الوريد. إذا رفع إصبعه من النقطة H، سيتدفق الدم إلى الأعلى، ويملأ الوريد، وسيبرز الوريد بين O وH.

20.27 الشريان الأبهر ← الشريان السباتى المشترك الأيسر ← الشريان السباتى الخارجى ← الشريان الصدغى السطحى.

20.36 تبدأ المبايض والخصيتان تطورهما الجنينى بالقرب من الكليتين. تمتد الأوردة التناسلية مع نزول الغدد التناسلية إلى تجويف الحوض وكيس الصفن.

20.39 قد تضغط الحركات المشتركة على شريان مؤقتًا. التشابكات تسمح باستمرار تدفق الدم عبر مسارات بديلة إلى مناطق أبعد.

20.40 الأوردة الرأسية، الباسيلية، والوريد الكعبرى المتوسط.

اختبار استرجاعك

1. c	9. e	15. الضغط الأونكوتى
2. ب	10. d	16. النقل الخلوى عبر الحويصلات (الترانزيسوزيس)
3. أ	11. الانقباضى، الانبساطى	17. الجهاز الودى
4. e	12. الشعيرات الدموية المستمرة	18. مستقبلات الضغط
5. ب	الشعيرات الدموية المستمرة	19. الشريان الدماغى دائرة
6. c	13. الوريد الأجوف العلوى	20. بازيليك، سفاليك
7. e		
8. أ	14. مصنخة صدرية	

بناء مفرداتك الطبية (قد تختلف الإجابات؛ هذه أمثلة مقبولة.)

1. وعاء دموى—تكوين الأوعية الدموية (angiogenesis)	6. ينتمى إلى—أوعية الأوعية (vasa vasorum)
2. ذراع—الرأس العضدى (brachiocephalic)	7. واقف—الصافن (saphenous)
3. بطن—الذيلى (celiac)	8. أسفل—تحت الترقوة (subclavian)
4. نافذة—فتحات (fenestrations)	9. الصدر—الصدرية الأخرمية
5. رقبة—الوداجى (jugular)	10. المثانة—تقلص ا

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

1. يمكن للدم تجاوز الشعيرات الدموية عن طريق التدفق عبر تشابك شريانى وريدى (توصيل شريانى وريدى).
2. يتدفق الدم من الدماغ عبر الأوردة الوداجية الداخلية.
3. أطول وعاء دموى هو الوريد الصافن الكبير.
4. بعض الأوردة تحتوى على صمامات، لكن الشرايين لا تحتوى عليها.
5. وفقًا للمعادلة $F \propto r^4$، يزداد التدفق بنسبة تتناسب مع القوة الرابعة لنصف القطر، أى بمقدار 16 ضعفًا.
6. مثلث الفخذ محاط بالرباط الإربى، وعضلة السرتوريوس وعضلة المقرّب الطويل.
7. تتلقى الرئتان أيضًا الدم من الشرايين القصبية للدورة الجهازية.
8. تعيد معظم الشعيرات الدموية امتصاص جزء فقط (عادة حوالى 85%) من السائل الذى ترشحه؛ ويتم امتصاص الباقى بواسطة الجهاز اللمفاوى.

9. تمدد الأوعية هو وعاء ضعيف ومنتفخ قد يتمزق.
10. الاستجابة لانخفاض ضغط الدم هى تضيق الأوعية التصحيحى.

الفصل ١٢

أسئلة تسميات الأشكال

21.2 هناك فجوات أكبر بكثير بين خلايا البطانة للأوعية اللمفاوية مقارنة ب تلك الموجودة بين خلايا الشعيرات الدموية الدموية.
21.3 لن يكون هناك تدفق أحادى الاتجاه ثابت لللمف. سيتراكم اللمف وسوائل الأنسجة، خاصة فى المناطق السفلية من الجسم.

21.4 (1) منع تراكم فائض سوائل الأنسجة و2(مراقبة سوائل الأنسجة للكائنات الممرضة تدفق اللمف من الثدى إلى العقد اللمفاو ية الإبطية.
لذلك، تميل خلايا السرطان المنتشرة إلى الاستقرار أولاً فى تلك العقد.
21.13 كريات الدم الحمراء فى اللب الأحمر؛ اللمفاويات والبلعميات فى ا للب الأبيض
21.15 كلاهما ينتجان حلقة من البروتينات فى غشاء البلازما للخلية المسته دفة، مما يفتح ثقبًا فى الغشاء يهرب من خلاله محتوى الخلية.

21.23 تعتمد الدفاعات الثلاثة جميعها على عمل خلايا تى المساعدة، التى يدمرها فيروس نقص المناعة البشرية)HIV(.
21.26 الشبكة الإندوبلازمية هى موقع تخليق الأجسام المضادة.

اختبار استرجاعك

1.	ب	9.	أ	16.	مُحرّض الحمى
2.	c	10.	c	17.	الإنترلوكينات
3.	أ	11.	ممرض	18.	موقع ارتباط المستضد
4.	أ	12.	لايزوزيم		الإبيتوب
5.	d	13.	التهاب العقد اللمفاوية	19.	الحذف النسلى
6.	ب	14.	العبور الخلوى)emi- الانتقال(	20.	مناعة ذاتية
7.	e				
8.	d	15.	التحصين		

بناء مفرداتك الطبية)قد تختلف الإجابات؛ هذه أمثلة مقبولة.(

1.	منفصل—تأقّنى	6.	تحريك—السيتوكين
2.	يفرز—باراكرين	7.	ماء—الجهاز اللمفاوى
3.	خارج—متسرب	8.	تضخم—تضخم الطحال
4.	ناشئ—ذاتى المنشأ	9.	مرض—تضخم العقد اللمفاوية
5.	الحرية—علم المناعة	10.	نار—مُحرّض الحمى

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

1. الليزوزيم هو إنزيم يقتل البكتيريا.
2. المكان الرئيسى لتكوين الخلايا اللمفاوية هو نخاع العظم الأحمر؛ تهاجر الخلايا اللمفاوية التائية من هناك إلى الغدة الزعترية.
3. الإنترفيرونات تعزز الالتهاب.
4. خلايا T المساعدة ضرورية أيضًا للمناعة الخلطية والفطرية.

5. تعمل الانتقاء السلبى على القضاء على أو تعطيل الخلايا التائية ذاتية الت فاعل)وليس الخلايا غير المستجيبة(، مما يمنع الهجوم المناعى على أنس جة الجسم نفسها.
6. لا يستقبل كل من الغدة الزعترية والطحال أى لمف وارد أو يقوم بتصفية ا للمف؛ فقط العقد اللمفاوية تقوم بذلك.
7. فقط الأجسام المضادة من فئتى IgG وIgM تستخدم تثبيت المتمم .
8. يمكن أن يكون الشخص إيجابيًا لفيروس نقص المناعة البشرية دون أن يكون مصابًا بالإيدز. يُعرف الإيدز بانخفاض عدد الخلايا التائية المساعدة)> 200/ميكرولتر(، وليس بوجود الفيروس.
9. اللاستجابة هى فقدان نشاط الخلايا اللمفاوية، فى حين أن الأمراض المناع ية الذاتية تنتج عن نشاط موجه بشكل خاطئ.
10. خلايا البلازما هى خلايا تصنع الأجسام المضادة فى الأنسجة الضامة و تتطور من الخلايا البائية؛ ولا توجد فى بلازما الدم.

الفصل 22

أسئلة تسميات الأشكال

22.3 سيقطع الخط الشكل قليلاً فوق تسمية القصبة الهوائية.

22.4 اللسان المزمار، القرنى، والاريتينويد
22.7 القصبة الهوائية الرئيسية اليمنى أوسع قليلاً وأكثر عمودية من اليسرى، م ما يجعل من الأسهل للأجسام المستنشقة أن تسقط فى الجانب الأيم ن.
22.8 لإفراز المخاط
22.17 أى تدفق هواء عبر الأنف لن يتم تسجيله بواسطة مقياس التنفس، ولن يتمكن مقياس التنفس من إعطاء قراءة صحيحة لتهوية الرئة.

22.19 ينخفض ضغط الأكسجين الجزئى)PO_2(من 104 إلى 95 ملم زئبق فى طريقه خارج الرئتين بسبب بعض الاختلاط مع الدم النظامى. وينخفض أكثر إلى 40 ملم زئبق عندما يتخلى الدم عن الأكسجين)O_2(للأنسجة المستنشقة، ويظل عند هذا المستوى حتى يُعاد أكسجة الدم مرة أخرى فى الرئتين. ضغط ثانى أكسيد الكربون الجزئى)PCO_2(هو 40 ملم زئبق عند مغادرة الرئتين ويرتفع إلى 46 ملم زئبق عندم ا يتم التقاط ثانى أكسيد الكربون)CO_2(من الأنسجة المستنشقة. ويظل عند هذا المستو ى حتى يعود الدم إلى الرئتين ويتخلص من ثانى أكسيد الكربون)CO_2(.
22.23 حوالى 40%
22.25 فى الحويصلات الهوائية، يترك ثانى أكسيد الكربون)CO_2(الدم، ويدخل الأ كسجين)O_2(، وجميع التفاعلات الكيميائية هى عكس تلك الموجودة فى ا لشكل 22.23. ستنخفض تركيز بيكربونات الدم بعد تبادل الغازات فى الح ويصلات الهوائية لأن البيكربونات يتم امتصاصها بواسطة تحول الكلوريد مضاد النقل وتحول إلى CO_2 والماء.
22.26 درجة حرارة أعلى تشير إلى معدل أيض مرتفع نسبيًا وبالتالى، حاجة متزايدة للأكسجين. مقارنة هذه المنحنيات تظهر أنه عند قيمة معينة من Po_2، الهيموغلوبين يتخلى عن المزيد من الأكسجين عند درجات حرارة أكثر دفئًا.

اختبار استرجاعك

1.	c	10.	أ	17.	الامتثال، المرونة
2.	c	11.	اللسان المزمار		
3.	أ	12.	الشجرة القصبية	18.	المجموعة التنفسية البطنية
4.	e	13.	الرئوى		
5.	e		عامل خافض للتوتر السطحى	19.	التهوية–اقتران التروية
6.	c	14.	جوى		
7.	ب	15.	انسدادى	20.	القلاء،
8.	أ	16.	المساحة الميتة التشر يحية		نقص ثانى أكسيد الكربون فى الدم
9.	d				

بناء مفرداتك الطبية)قد تختلف الإجابات؛ هذه أمثلة مقبولة.(

1.	غير مكتمل—انخماص الرئة	6.	جهاز قياس—مقياس التنفس
2.	دخان—فرط ثانى أكسيد الكربون فى الدم	7.	الأنف—الأنفى الوجهى
3.	سرطان—سرطانة	8.	التنفس—ضيق التنفس
4.	قرن—قرنى	9.	التنفس—قياس التنفس
5.	حقيقى—تنفس طبيعى	10.	الدرع—الغدة الدرقية

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

1. كما أنها تنشط أثناء الزفير)على الرغم من بمعدل أقل(لتؤدى دور الكبح على الحجاب الحاجز.
2. لدى الرئتين مجموع 18 قصبة هوائية قطاعية ولكن فقط 5 فصو ص.
3. الخلايا الأكثر وفرة هى البلاعم السنخية.
4. عندما يزداد الحجم، ينخفض الضغط.
5. يمكن أن يكون الانخماص له أسباب أخرى مثل انسداد مجرى الهواء.
6. التأثير الأكبر هو خفض مستوى ثانى أكسيد الكربون CO_2؛ التنفس المتسارع له تأثير ضئيل على مستوى الأكسجين O_2 فى الدم.
7. نستنشق جميع غازات الغلاف الجوى، سواء استخدمها الجسم أم لا؛ لا توجد طريقة لفصل غاز عن آخر أثناء الاستنشاق.

8. فى حجم التنفس المتوسط 500 مل، يصل 350 مل إلى الحويصلات الهوائية.
9. كلما انخفض PCO_2، ارتفع الرقم الهيدروجينى (pH).
10. يتم نقل معظم ثانى أكسيد الكربون CO_2 فى الدم على شكل أيونات بيكربونات.

الفصل 23

أسئلة تسميات الأشكال

23.2 يتم إنتاج الأمونيا عن طريق إزالة الأمين من الأحماض الأمينية؛ ويتم تخليق اليوريا من الأمونيا وثانى أكسيد الكربون؛ ويتم إنتاج حمض اليوريك من الأحماض النووية؛ ويتم إنتاج الكرياتينين من فوسفات الكرياتين.

23.3 سيكون فى الفراغ المظلم فى أعلى الشكل، حيث يظهر الطحال والقولون والأمعاء الدقيقة.

23.10 الشريان الموصّل أكبر. المدخل الكبير نسبيًا إلى الكبيبة ومخرجها الصغير يؤديان إلى ارتفاع ضغط الدم فى الكبيبة. هذه هى القوة التى تدفع الترشيح الكبيبى.

23.16 يخفض درجة حموضة البول؛ كلما تم إعادة امتصاص المزيد من Na^+، يتم إفراز المزيد من H^+ فى السائل الأنبوبى. يُرى هذا فى مضاد النقل $Na^+–H^+$ على الحافة اليمنى من الشكل.

23.23 الإحليل الأنثوى القصير نسبيًا يشكل عقبة أقل أمام البكتيريا التى تنتقل من العجان إلى المثانة البولية.

اختبار استرجاعك

1. أ
2. d
3. ب
4. c
5. ب
6. ب
7. d
8. e
9. c
10. أ
11. التبول
12. التنظيم الذاتى الكلوى
13. المثلث
14. البقعة الكثيفة
15. الخلايا الطفرية
16. النقل الحد الأقصى
17. هرمون مضاد لإدرار البول
18. الإحليل الداخلى
19. بروتين
20. قوسى

بناء مفرداتك الطبية (قد تختلف الإجابات؛ هذه أمثلة مقبولة.)

1. النيتروجين—ازوتيميا
2. المثانة—التهاب المثانة
3. الكرة—الكبيبة
4. بجانب—الجار كبيبى
5. منتصف - ميزانجيوال
6. الكلى—النيفرون
7. القدم—الخلايا الكلوية (بودوسايت)
8. الترهل—هبوط الكلية (نيفروبتوسيس)
9. القيح—التهاب الحويصنة والكلية (بايلونيفريتيس)
10. مستقيم—الأوعية المستقيمة (فاسا ركتا)

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

1. إعادة امتصاص الكالسيوم والصوديوم فى الأنبوب القريب (PCT) تتأثر بهرمون الغدة الجار درقية والأنجيوتنسين II.
2. يحتوى البول على كمية أكبر من اليوريا والكلوريد مقارنة بالصوديوم.
3. يوجد كُبَيْب كُلوى واحد لكل نيفرون وتصب العديد من النيفرونات فى كل قناة جمع، لذا فإن عدد الكُبَيْبات الكلوية يفوق بشكل كبير عدد قنوات الجمع.
4. تُعتبر الوصلات الضيقة (Tight junctions) فى النبيب الكلوى مسربة إلى حد كبير، ويمر كمية كبيرة من السائل الأنبوبى من خلالها ليتم إعادة امتصاصها عن طريق المسار بين الخلوى.
5. داء السكرى الكاذب لا يظهر وجود الجلوكوز فى البول.
6. توسيع الشريان البعيد يقلل المقاومة وبالتالى يخفض ضغط الدم فى الكبيبة ومعدل الترشيح.
7. يحفز الأنجيوتنسين II إفراز الألدوستيرون وإعادة امتصاص Na^+، مما يقلل من إنتاج البول.
8. يمكن أن يكون البول مخففًا حتى 50 مللى أوسمول/لتر.
9. عادةً ما يكون هناك وفرة من الصوديوم ولكن لا يوجد جلوكوز فى البول.
10. التبول ناتج عن انقباض عضلة المثانة (الدتروسور).

الفصل 24

أسئلة تسميات الأشكال

24.1 حجرة سائل النسيج

24.8 ابتلاع الماء

24.10 سينخفض مع انخفاض الرقم الهيدروجينى (pH).

24.13 عكس كلا السهمين ليشيرا إلى اليسار.

اختبار استرجاعك

1. c
2. أ
3. أ
4. أ
5. d
6. c
7. e
8. ب
9. d
10. ب
11. Na^+
12. K^+ و Mg^{2+}
13. الماء الأيضى
14. التبخر الجلدى
15. احتباس السوائل
16. فرط بوتاسيوم الدم
17. نقص صوديوم الدم
18. الحماض التنفسى

الحماض التنفسى

19. درجة الحموضة المحددة
20. الأسمولية

بناء مفرداتك الطبية (قد تختلف الإجابات؛ هذه أمثلة مقبولة.)

1. الغذاء—فرط التغذية
2. الدم—نقص التأكسج
3. الأمعاء—التغذية الوريدية
4. البوتاسيوم—فرط بوتاسيوم الدم
5. الصوديوم—نقص صوديوم الدم
6. بجانب—التغذية الوريدية
7. عزل—الحجز
8. التنفس—النتح
9. عبر—النتح
10. الحجم—نقص حجم الدم

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

1. هذا تأثير نقص بوتاسيوم الدم، وليس فرط بوتاسيوم الدم.
2. الألدوستيرون له تأثير ضئيل فقط على ضغط الدم.
3. تؤدى هذه الإصابات إلى ارتفاع مستوى البوتاسيوم فى السائل خارج الخلوى.
4. تركيز الفوسفات أقل أهمية من تركيز الإلكتروليتات الأخرى ويمكن أن يتغير بأمان ضمن نطاق واسع نسبيًا.
5. يُعزز هرمون الغدة الجار درقية (PTH) امتصاص الكالسيوم ولكنه يزيد من إفراز الفوسفات.
6. تعمل البروتينات كعوامل عازلة للحمض أكثر من البيكربونات أو الفوسفات.
7. زيادة إعادة امتصاص الصوديوم تزيد من إفراز H^+ فى البول وتخفض درجة حموضة البول.
8. يميل القلاء إلى التسبب فى انخفاض معدل التنفس والتهوية الرئوية، مما يؤدى إلى ارتفاع درجة حموضة السائل خارج الخلوى مرة أخرى.
9. يفقد الجسم فى الجفاف الحقيقى كمية ماء أكبر من الملح، لذا تصبح سوائل الجسم مفرطة التوتر.
10. الترطيب الفموى والتبريد لهما تأثير قصير الأمد فقط على العطش.

الفصل 25

أسئلة تسميات الأشكال

25.6 الأضراس الأولى والثانية والأضراس الثالثة

25.7 المينا هو إفراز، وليس نسيجًا؛ جميع الأنسجة الأخرى حية.

25.11 انسداد الفم بجذر اللسان وانسداد الأنف بالحنك الرخو

25.12 العضلة الخارجية للمرىء تحتوى على طبقتين من العضلات، مع وجود العضلات الهيكلية فى المناطق العليا إلى الوسطى والعضلات الملساء فى المناطق الوسطى إلى السفلى. فى المعدة، تحتوى على ثلاث طبقات من العضلات، جميعها عضلات ملساء.

25.14 تقوم بتبادل H^+ مع K^+ ($H^+–K^+$ ATPase هو مضخة نقل نشطة).

25.20 الشريان الكبدى والوريد البابى الكبدى

25.32 لا تدخل الدهون إلى النظام البابى الكبدى الذى يؤدى مباشرةً إلى الكبد. تُمتص الدهون الغذائية فى القنوات اللمفاوية الدقيقة للأمعاء الدقيقة، ثم يجب أن تسير على الأقل فى المسار التالى للوصول إلى الكبد:
→ الوريد تحت الترقوة الأيسر → القناة الصدرية → الجذع المعوى
الجذع البطنى → الشريان الأورطى → القلب →
الشرايين → الشريان الكبدى الصحيح → الشريان الكبدى المشترك
الكبد → الكبدية .

25.33 يتكون المصرة الشرجية الداخلية من عضلات ملساء وبالتالى يتم التحكم بها بواسطة الجهاز العصبى اللاإرادى. أما المصرة الشرجية الخارجية فتتكون من عضلات هيكلية وبالتالى يتم التحكم بها بواسطة الجهاز العصبى الجسدى.

اختبار استرجاعك

1. ب	8. أ	15. العصب المبهم
2. d	9. أ	16. جاسترين
3. c	10. أ	17. الجيوب الأنفية
4. e	11. مغلق	18. ديببتيداز
5. أ	12. أميلاز، ليباز	19. أحماض الصفراء
6. c	13. الغدة النكفية	20. الحديد
7. أ	14. معوى	

بناء مفرداتك الطبية)قد تختلف الإجابات؛ هذه أمثلة مقبولة.(

1. تجويف—أنتروم	6. كبد—خلايا الكبد)هيباتوسايت(
2. عصارة—كيلوميكرون	7. جاف—جيجونوم
3. صغير—ميسيل	8. بوابة—بورتال
4. تقيؤ—مقىء	9. بوابة—بيلوريك
5. لجام—فرينولوم	10. على شكل S—سيغمويد

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

1. يبدأ هضم الدهون فى المعدة.
2. معطم السن يتكون من العاج.
3. تفرز خلايا الكبد الصفراء إلى القنوات الصفراوية.
4. تتحكم الحليمة اللفائفية فى مرور البقايا من اللفائفى فى الأمعاء الدقى قة إلى الأعور فى الأمعاء الغليطة.
5. تقوم الأوعية اللمفاوية فى الزغابات بامتصاص الكيلومكرونات، وليس الميسيلات.
6. هيبسيدين يثبط امتصاص الحديد ويمنع فرط الحديد.
7. يمتص الأمعاء الدقيقة ليس فقط الجلوكوز بل أيصًا الفركتوز والجالاك توز.
8. يتم امتصاص معطم الماء بواسطة الأمعاء الدقيقة.
9. يحفز السكرتين الكبد والبنكرياس على إفراز البيكربونات ويثبط إفراز المعدة.
10. يمر الماء والجلوكوز والمواد الغذائية الأخرى بين الخلايا، من خلال الوصلات الضيقة.

الفصل ٦٢

أسئلة تسميات الأشكال

26.4 يشير ارتفاع نسبة HDL إلى LDL إلى أن الكوليسترول الزائد يتم نقله إلى الكبد لإزالته من الجسم. تشير نسبة LDL إلى HDL العالية إ لى معدل مرتفع لترسيب الكوليسترول فى جدران الشرايين.

26.7 NADH و 2FADH

26.11 الحماض، الحماض الكيتونى، أو الحماض الأيضى

26.12 الجلوكوز→ البيروفات → الأحماض الكيتونية → الأحماض الأمينية

اختبر ذاكرتك

1. أ	8. أ	15. الكبد
2. c	9. d	16. الأنسولين
3. ب	10. d	17. درجة حرارة النواة
4. e	11. غير مكتمل	18. قوسى
5. ب	12. تحلل الجليكوجين	19. السيتوكرومات
6. e	13. تكوين الجلوكوز	20. إنزيم ATP سينثاز، ATP
7. c	14. اليوريا	

بناء مفرداتك الطبية)قد تختلف الإجابات؛ هذه أمثلة مقبولة.(

1. الكيس—الاستسقاء البطنى)ascites(	6. مثل—الاستسقاء
2. السىء—سوء التغذية)cachexia(	7. رقيق—اللبتين
3. اللون—السيتوكروم)cytochrome(	8. انقسام—التحلل السكرى
4. الإنتاج—تكوين الدهون)lipogenesis(	9. جديد—تكوين الجلوكوز
5. السكر—نقص سكر الدم)hypoglycemia(	10. دفع—التمثيل الكيميائى الأسموزى

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

1. اللبتين يثبط الشهية.
2. المغذيات هى مواد غذائية تُمتص فى الأنسجة وتصبح جزءًا من الجسم؛ الماء يفى بهذا المعيار ويُعتبر مغذياً.
3. الدهون تحتوى على أكثر من ضعف السعرات الحرارية لكل جرام مقارنة بالكربوهيد رات.
4. معطم الكوليسترول داخلى المنشأ، وليس من النطام الغذائى.
5. تناول البروتين المفرط يولد فائضًا من الفضلات النيتروجينية و يمكن أن يسبب ضررًا للكلى.
6. الإفراط فى إنتاج الكيتونات هو تأثير للأنطمة الغذائية عالية الدهون.
7. تنتج تفاعلات الغشاء ما يصل إلى 28 جزىء ATP لكل جلوكوز، بينما تنتج عملية التحلل السكرى وتفاعلات المصفوفة 4 جزيئات ATP فقط.
8. تكوين الجلوكوز هو طاهرة تحدث بعد الامتصاص.
9. الدهون البنية لا تولد ATP.
10. عند درجة حرارة 21°م، يفقد الجسم حوالى 60% من حرارته عن طريق الإشعاع.

الفصل ٧٢

أسئلة تسميات الأشكال

١.٧٢ كلا الاضطرابين ناتجان عن عيوب فى مستقبلات الهرمونات بدلاً م ن نقص الهرمون المعنى.

٥.٧٢ كلمة *المهبل* تعنى "الغلاف". الغلاف المهبلى يغلف جزئياً الخصية.

٠١.٧٢ تضخم البروستاتا يضغط على الإحليل ويعيق إفراغ المثانة.

١١.٧٢ الغلاف الأبيض)tunica albuginea(يسمح بتراكم ضغط مفرط فى ا لجسم الإسفنجى، مما يضغط على الإحليل ويعيق القذف.

٣١.٧٢ التبادل الوراثى فى الطور التمهيدى الأول يؤدى إلى مزيج من الجينا ت الأمومية والأبوية فى كل كروموسوم.

27.14 المرحلة الخلوية التالية فى الانقسام الاختزالى، وهى الخلية المنوية ا لثانوية، تختلف جينيًا عن باقى خلايا الجسم وستتعرض لهجوم مناعى إذا لم تُعزل عن الأجسام المضادة فى الدم.

اختبار استرجاعك

1. أ	9. d	15. الغلالة البيضاء)tunica albuginea(
2. أ	10. d	16. الحويصلات المنوية
3. أ	11. الميزونيفريك)الكلية الوسطى(	17. ممرضة
4. c	12. الزنك	18. الخلية المنوية الثانوية الخلية المنوية الثانوية
5. أ	13. صفيرة بامبين ى فورم	19. عميق
6. d	14. الحيوانات ا لمنوية الثانوية	20. الأكرُوزوم
7. e		
8. c		

بناء مفرداتك الطبية)قد تختلف الإجابات؛ هذه أمثلة مقبولة.(

1. مخفى—خصية مختفية)cryptorchidism(	6. اختزال—الانقسام الاختزالى)meiosis(
2. توأمان—البربخ)epididymis(	7. الخصية—الخصية المعلقة)cryptorchidism(
3. خارح—القذف	8. الشبكة—شبكة الخصية)rete testis(
4. اتحاد—جاميت	9. الجسم—الأكرزوم)acrosome(
5. حالة—خصية مختفية)cryptorchidism(	10. الغلاف—الغلاف المهبلى)tunica vaginalis(

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

1. يتم إفراز التستوستيرون بواسطة الخلايا الصماء البينية.
2. يحتوى الحمض النووى للحيوانات المنوية فى النواة فى رأس الحيوان المنوى.
3. يكتمل الانقسام الاختزالى الثانى قبل تكون الحيوانات المنوية، وهو تحويل الأر بع حيوانات منوية غير ناضجة إلى حيوانات منوية ناضجة.
4. الغدد التناسلية الذكرية)الخصيتان(هى الأعضاء الجنسية الأولية فقط؛ القضيب هو عضو جنسى ثانوى.

9. البروجسترون يثبط انقباضات الرحم.
10. يتم تساقط الطبقة السطحية)الوظيفية(فقط.

الفصل 29

أسئلة تسميات الأشكال

29.8 حوالى 8 أسابيع

29.13 XXY)متلازمة كلاينفلتر(و YO)زيجوت لا يمكن أن يعيش(

29.15 أنثى، كما يُرى من الكروموسومين X فى الأسفل على اليمين

اختبار استرجاعك

1. ب	8. أ	15. الزغابات المشيمية
2. ب	9. d	16. الأكرُوزوم
3. c	10. d	17. الكولاجين
4. c	11. المُشوّهات الخَلقية	18. متلازمة داون)التثلث الصبغى 21(
5. أ	12. عدم الانفصال	
6. e	13. مدة الحياة	19. الثقب البيضاوى
7. c	14. العمر المتوقع	20. الجنين

بناء مفرداتك الطبية)قد تختلف الإجابات؛ هذه أمثلة مقبولة.(

1. مع—خلقى	6. مزدوج—اللاعددية
2. التساقط—الرحمى	7. الشيخوخة—الشيخوخة البيولوجية
3. الشيخوخة—مرض البروجرية	8. معًا—المشيمة متعددة النوى)سينسيتيوتروفوبلاست(
4. توت—مورولا	9. نهاية—التيلومير
5. كعكة مسطحة—المشيمة	10. وحش—المُشوِّه)تيراتوغين(

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

1. تزداد القدرة على تخصيب البويضة خلال أول 10 ساعات مع تأهيل الحيوانات المنوية.
2. يحدث التخصيب فى قناة الرحم.
3. يقوم عدد من الحيوانات المنوية التى تصل مبكرًا بتمهيد الطريق للحيوان المنوى الذى يخصب ا لبويضة.
4. تحدث الانقسامات الخلوية المبكرة بينما يكون الجنين لا يزال فى قناة الرحم، قبل حوالى يومين من وصوله إلى الرحم.
5. يُعتبر الفرد جنينًا فى تلك المرحلة؛ ولا يصبح جنينًا حتى تتكون جميع ا لأعضاء الرئيسية.
6. مع تطورها، تصبح الزغابات المشيمية أرق وأكثر... قابل للنفاذ.
7. تُظهر الكلى واحدة من أكبر درجات الشيخوخة، حيث تنكمش بنسبة 60% إلى 80% بحلول عمر 90 عامًا.
8. الثقبة البيضوية هى تحويلة فى القلب تسمح للدم بتجاوز الرئتين؛ أم ا التحويلة التى تتجاوز الكبد فهى القناة الوريدية)ductus venosus(.
9. الدم فى الوريد السرى يعود من المشيمة، حيث التقط الأكسجين وبالتالى يحتوى على ضغط جزئى عالى للأكسجين P_{O_2}.
10. التيلوميراز هو إنزيم يصلح التيلوميرات ويطيل عمر الخلية، كما هو الحال فى الخلايا الجذعية وخلايا السرطان.

الملحق د

الجدول د.2 سؤال

Asn-Ile-Tyr-Val-Arg-Asp

5. ينتج تطور الجنين الأنثوى عن انخفاض مستوى التستوستيرون، وليس ع ن الإستروجين.
6. تساهم الحويصلات المنوية بحوالى 60% من السائل المنوى.
7. الصفيرة الوريدية تمنع ارتفاع حرارة الخصيتين.
8. الحيوانات المنوية لا تحتوى على مستقبلات التستوستيرون؛ يرتبط ا لتستوستيرون ببروتين ربط الأندروجين فى الأنابيب المنوية.
9. لا توجد ظاهرة مثل انقطاع الطمث عند الذكور، وإنتاج الحيوانات ا لمنوية يستمر عادة طوال الشيخوخة.
10. الانتصاب هو نتيجة لتحفيز الجهاز اللاودى للأوعية الدموية فى الأنس جة الانتصابية.

الفصل ٨٢

أسئلة تسميات الأشكال

28.4 لتحريك البويضة أو الجنين نحو الرحم

28.8 الغدد حول الإحليل

28.9 تتسبب فى تدفق الحليب من الحويصلة إلى قنوات الغدة الثديية.

٠١.٨٢ يؤدى هذا إلى صورة أوضح لأن الأشعة السينية لا تحتاج إلى يخترق كتلة نسيجية سميكة كهذه.

28.18 النسبة المتزايدة من الإستراديول إلى البروجستيرون تجعل الرحم أكثر تهيجًا.

اختبار استرجاعك

1. أ	8. ب	15. التاج الإشعاعى
2. d	9. c	16. التجويف
3. c	10. ح	17. سن اليأس
4. أ	11. جريب	18. الجنين)المُفرّخ(
5. e	12. بطانة الرحم	19. القمع، الأهداب
6. ب	13. الحيض الأول)الطمث الأول(	
7. ب	14. الجسم الأصفر	20. النفاس

بناء مفرداتك الطبية)قد تختلف الإجابات؛ هذه أمثلة مقبولة.(

1. البداية—الحيض الأول)الطمث الأول(	6. الحليب—الرضاعة
2. لـ—الحمل)gravidarum(	7. الربط—ربط قناتى فالوب
3. التل—التراكمى	8. الرحم—بطانة الرحم
4. الحمل—البروجسترون	9. البويضة—تكوين البويضات
5. الرحم—استئصال الرحم	10. الأول—الولادة الأولى

ما الخطأ فى هذه العبارات؟

1. فقط البويضة وخلايا الكومولوس أوفوروس تدخل قناة الرحم، وليس الجريب بأكمله.
2. يتم إفراز HCG بواسطة المشيمة.
3. لا تكتمل الانقسام الاختزالى الثانى إلا بعد الإباضة، وفقط إذا تم تخ صيب البويضة.
4. غالبًا ما يكون لدى مثل هؤلاء الفتيات نسبة دهون فى الجسم أقل من المتوسط و تأخر فى الحيض الأول بسبب ذلك.
5. تتعرض العديد من البويضات والجريبات للضمور خلال الطفولة، لذا ى نخفض عددها بشكل كبير بحلول سن البلوغ.
6. يتم إفراز البرولاكتين أثناء الحمل لكنه لا يحفز الإرضاع فى ذلك الوقت.
7. اللبأ يحتوى على دهون أقل من الحليب.
8. ينضج ما يصل إلى عشرين جريبًا إلى مرحلة الجريب الثانوى فى كل د ورة، لكن عادةً ما يتم الإباضة من واحد فقط منها.

APPENDIXب

الرموز، الأوزان، والقياسات

الحروف اليونانية

ألفا	α
بيتا	β
جاما	γ
دلتا (حرف كبير)	Δ
دلتا (حرف صغير)	دلتا
إيتا	η
ثيتا	θ
لامبدا	λ
مو	μ
باي	π

وحدات الطول

متر	m
كيلومتر (10^{3} م)	كم
سنتيمتر (10^{-2} م)	سم
ميليمتر (10^{-3} م)	مم
ميكرومتر (10^{-6} م)	ميكرومتر
نانومتر (10^{-9} م)	نانو متر

وحدات الكتلة والوزن

وحدة الكتلة الذرية	أمو
الوزن الجزيئى	ميغاوات
ميغاوات بالجرامات	مول
جرام	g
كيلوغرامات (10^{3} جرام)	كجم
ميليغرامات (10^{-3} غ)	ملغ
ميكروغرامات (10^{-6} غ)	ميكروغرام

وحدات الضغط

الجوّات (1 جو = 760 مم زئبق)	atm
ملليمترات الزئبق	مم زئبق
الضغط الجزئى للغاز X (كما فى PO_2)	P_X

عوامل التحويل

1 سم = 0.394 بوصة	1 بوصة = 2.54 سم
1 ملل = 0.034 أونصة سائلة	1 أونصة سائلة = 29.6 مل
1 لتر = 1.057 كوارت	1 كوارت = 0.946 لتر
1 أونصة = 28.38 غ	1 غ = 0.0035 أونصة
1 kg = 2.2 lb	1 رطل = 0.45 كجم
$°F = (9/5)(°C) + 32$	درجة مئوية = (5/9)(درجة فهرنهايت - 32)

وحدات الحجم

لتر	لتر
ديسيلتر (= 100 مل) (10^{-1} ل)	ديسيلتر
ميليلتر (10^{-3} ل)	ملليلتر
ميكرولتر (= 1 مم^{3}) (10^{-6} ل)	ميكرولتر

وحدات الحرارة

سعر حرارى "صغير"	سعر حرارى
كيلوكالورى (سعرة حرارية كبيرة؛ 1 كيلوكالورى = 1000 سعر حرارى)	كيلوكالورى
السعرات الحرارية "الكبيرة" (الغذائية) (1 كال = 1000 كال)	سعرة حرارية كبيرة

وحدات التركيز

تركيزات كيميائية—كميات المذاب فى حجم معين-

حجم المحلول—يُعبّر عنه بطرق مختلفة لأغراض مختلفة لأغراض علمية أو سريرية. يتم شرح بعض هذه الطرق هنا، وخاصة تلك المستخدمة فى هذا الكتاب.

الوزن لكل حجم

طريقة بسيطة للتعبير عن التركيز هى وزن المذاب فى حجم معين من المحلول. على سبيل المثال، يحتوى محلول الملح الوريدى (I.V.) عادةً على 8.5 جرام من NaCl لكل لتر من المحلول (8.5 جم/لتر). لأغراض بيولوجية عديدة، نتعامل مع كميات أصغر مثل *ملليغرام لكل ديسيلتر (mg/dL)*. على سبيل المثال، قد يكون تركيز الكوليسترول فى المصل النموذجى 200 ملليغرام/ديسيلتر، ويُعبر عنه أيضًا كـ 200 مليغرام/100 مل أو 200 ملليغرام-بالمئة (mg-%).

النسب المئوية

تركيز النسبة المئوية سهل الحساب أيضًا، لكن من الضرورى تحديد ما إذا كانت النسبة تشير إلى الوزن أو إلى حجم المذاب فى حجم معين من المحلول. على سبيل المثال، إذا بدأنا بـ 5 جرام من الدكستروز (وهو إيزومر للجلوكوز) وأضفنا كمية كافية من الماء لصنع 100 مل من المحلول، سيكون التركيز الناتج 5% وزن لكل حجم (w/v). أحد السوائل الوريدية المستخدمة شائعًا هو D5W، والذى يعنى 5% وزن لكل حجم من الدكستروز فى ماء مقطر.

إذا كان المذاب سائلاً، مثل الإيثانول، فإن النسب تشير إلى حجم المذاب لكل حجم المحلول. وبالتالى، 70 مل من الإيثانول مخفف بالماء إلى 100 مل من المحلول ينتج 70% حجم لكل حجم (70% v/v) من الإيثانول.

التركيز المولى

تركيزات النسبة المئوية سهلة التحضير، لكن وحدة القياس هذه غير كافية للعديد من الأغراض. التأثير الفسيولوجى لمادة كيميائية يعتمد على عدد جزيئاتها الموجودة فى حجم معين، وليس على وزن المادة الكيميائية. على سبيل المثال، يحتوى محلول الجلوكوز بنسبة خمسة بالمئة على ما يقرب من ضعف عدد جزيئات السكر مقارنة بنفس حجم محلول السكروز بنسبة 5%. يحتوى كل محلول على 50 جرامًا من السكر لكل لتر، لكن الجلوكوز له وزن جزيئى (MW) مقداره 180 والسكروز له وزن جزيئى مقداره 342. بما أن كل جزىء من الجلوكوز أخف، فإن 50 جرامًا من الجلوكوز تحتوى على جزيئات أكثر من 50 جرامًا من السكروز.

تحدد أشياء مثل نشاط الأعصاب والقلب والعضلات، ليس فقط على تركيزها ولكن أيضًا على شحنتها الكهربائية.
على سبيل المثال، أيون الكالسيوم (Ca^{2+}) له تأثير كهربائي مضاعف مر تين مقارنة بأيون الصوديوم (Na^+)، لأنه يحمل شحنتين. عند قياس تر كيزات الإلكتروليتات، يجب أخذ الشحنات في الاعتبار.

المكافئ الواحد (Eq) من الإلكتروليت هو الكمية التي تـ عادل كهربائيًا تعادل 1 مول من أيونات الهيدروجين (H^+) أو أيونات الهيدر وكسيد (OH^-). على سبيل المثال، 1 مول (58.4 جم) من NaCl يعطي 1 م ول، أو 1 مكافئ، من Na^+ في المحلول. وبالتالي، يحتوي محلول NaCl بـ تركيز 58.4 جم/لتر على 1 مكافئ من Na^+ لكل لتر (1 Eq/L). 1 مول (98 جم) من حمض الكبريتيك (H_2SO_4) يعطي 2 مول من الشحنات الموجبة (H^+).
لذا، فإن 98 جم من حمض الكبريتيك لكل لتر سيكون محلولًا بتركيز 2 Eq/L.
تركيزات الإلكتروليتات في سوائل جسم الإنسان أقل من 1 Eq/L ، لذلك نعبر عن تركيزاتها غالبًا بالملي مكافئات لكل لتر (mEq/L). إذا كنت تعرف التركيز الميليمولاري للإلكتروليت، يمكنك بسهولة تحويله إلى mEq/L بضربه في التكافؤ (الشحنة) للأيون:

$$1\ mM\ Na^+ = 1\ mEq/L$$

$$1\ mM\ Ca^{2+} = 2\ mEq/L$$

$$1\ mM\ Fe^{3+} = 3\ mEq/L$$

الحموضة والقلوية (الرقم الهيدروجيني)

تعبر الحموضة بمصطلحات الرقم الهيدروجيني (pH)، وهو مقياس مشتق م ن المولارية لأيونات الهيدروجين (H^+). تمثل المولارية بالأقواس المربعة، لذا فإن مولارية H^+ ترمز إليها بـ [H^+]. الرقم الهيدروجيني هو اللوغاريتم السالب ل مولارية أيونات الهيدروجين؛ أي،

$$pH = -\log [H^+].$$

في الماء النقي، يتأين 1 من كل 10 ملايين جزيء من H_2O إلى أي ونات الهيدروجين والهيدروكسيد: $H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$. الماء النقي يحتوي على درجة الحموضة المتعادلة لأنها تحتوي على كميات متساوية من H^+ و OH^-.
نظرًا لأن 1 من كل 10 ملايين جزيء يتأين، فإن مولارية H^+ و درجة الحموضة (pH) للماء كما يلي:

$$[H^+] = 0.0000001\ M = 10^{-7} M$$

$$\log [H^+] = -7$$

$$pH = -\log [H^+] = 7$$

يتراوح مقياس درجة الحموضة من 0 إلى 14 وهو لوغاريتمي، لذا كل عدد صحيح أعلى أو أدنى في المقياس يمثل فرقًا بمقدار 10 أضعاف في تركيز [H^+].
يُوضح ذلك من خلال القيم الثلاث التالية لدرجة الحموضة القوية الحموضة:

If $[H^+] = 0.1\ M$	$pH = -\log 10^{-1} = 1.0$
If $[H^+] = 0.01\ M$	$pH = -\log 10^{-2} = 2.0$
If $[H^+] = 0.001\ M$	$pH = -\log 10^{-3} = 3.0$

كلما قل تركيز H^+، ارتفعت درجة الحموضة. تُعتبر قيم pH أقل من 7.0 حمضية. وفوق 7.0 تكون قاعدية أو قلوية.
القيم الثلاث التالية تقع في الطرف القاعدي من مقياس pH:

إذا كان $[H^+] = 0.000000000001\ M$	$pH = -\log 10^{-12} = 12.0$
إذا كان $[H^+] = 0.0000000000001\ M$	$pH = -\log 10^{-13} = 13.0$
إذا كان $[H^+] = 0.00000000000001\ M$	$pH = -\log 10^{-14} = 14.0$

لإنتاج محاليل بعدد معروف من الجزيئات لكل حجم، يجب أن نأخذ في الاعتبار الوزن الجزيئي. إذا كنا نعرف الوزن الجزيئي وقمنا بوزن هذا العدد من الغرامات من المادة، فلدينا كمية تعرف باسم 1 *مول*. مول واحد من الجلوكوز يساوي 180 جرامًا و مول من السكروز يساوي 342 جرامًا. كل كمية تحتوي على نفس عدد الجزيئات من السكر المعني — وهو عدد معروف باسم *عدد أفوجادرو*، 6.023×10^{23} جزيء لكل مول.
المولارية (M) هي عدد مولات المذاب لكل لتر من المحل ول. يحتوي محلول جلوكوز بتركيز مولاري واحد (1.0 M) على 180 جرا م/لتر، ومحلول سكروز بتركيز 1.0 M يحتوي على 342 جرام/لتر. كلاهما يحتوي على نفس عدد جزيئات المذاب في حجم معين. عادةً ما تكون سوائل الجسم والمحاليل المختبرية أقل تركيزًا من 1 M، لذلك يعمل علماء الأحياء والأطباء في الغالب بتركيزات *ميليمولارية* (mM، 10^{-3} M) و *ميكرومولارية* (μM، 10^{-6} M).

الأسمولارية والأسمولالية

لتركيز الأسموزي لسوائل الجسم تأثير كبير على وظيفة الخلايا، توزيع ميا ه الجسم، امتصاص المغذيات، فقدان الماء عن طريق البول، الإحسا س بالعطش، وضغط الدم. لذلك، من المهم قياس التركيزات الأسموز ية في علم وظائف الأعضاء والممارسة السريرية (مثل عند إعطاء العلاج بالسوائل عن طريق الوريد). عادةً ما يعبر علماء وظائف الأعضاء والأطباء عن التركيز الأسموزي بوحدة *ميلي أسمول لكل لتر* (mOsm/L).
الأسمول الواحد هو 1 مول من الجسيمات المذابة. إذا لم يتأين ا لمذاب في الماء، فإن 1 مول من المذاب يعطي 1 أسمول (osm) من الجسيمات المذابة. على سبيل المثال، محلول جلوكوز بتركيز 1 M هو أيضًا 1 osm/L.
إذا تأين المذاب، فإنه يعطي جسيمتين أو أكثر مذابتين في المحلول. ع لى سبيل المثال، يحتوي محلول NaCl بتركيز 1 M على 1 مول/لتر م ن أيونات الصوديوم و1 مول/لتر من أيونات الكلوريد؛ أما كلوريد الكال سيوم ($CaCl_2$) بتركيز 1 M فإنه (إذا تفكك تمامًا) يعطي 1 مول من أيو نات الكالسيوم و2 مول من أيونات الكلوريد. جميع الأيونات تؤثر بالت ساوي على الأسموزية ويجب عدها بشكل منفصل في قياس التركيز ا لأسموزي. وبالتالي،

$$1\ M\ NaCl = 2\ osm/L, \text{ and}$$

$$1\ M\ CaCl_2 = 3\ osm/L.$$

الأسمولالية هي عدد الأسمولات من المذاب لكل كيلوغرام من ال ماء، و *الأسمولارية* هي عدد الأسمولات لكل لتر من المحلول. معظم الحسابات السريرية تعتمد على الأسمولارية، لأن قياس حجم المحلول أسهل من قياس وزن الماء الذي يحتويه. الفرق بين الأسمولالية والأ سمولارية قد يكون مهمًا في العمل التجريبي، لكن عند تركيزات سوائ ل جسم الإنسان، الفرق أقل من 1%، وهما قابلان للتبادل عمليًا للأغرا ض السريرية.

جميع سوائل الجسم والعديد من المحاليل السريرية هي مزيج من عديد المواد الكيميائية. الأسمولارية لمثل هذا المحلول هي التركيز الأسموزي الكلي لجميع جسيماته المذابة.
تركيز 1 osm/L أعلى بكثير مما نجده في معظم سوائل الجسم، ل ذلك عادةً ما يتم التعبير عن التركيزات الفسيولوجية بوحدة ميلي أسمو ل لكل لتر (mOsm/L) ($1\ mOsm/L = 10^{-3}\ osm/L$). يقيس بل ازما الدم، سائل الأنسجة، والسائل داخل الخلايا حوالي 300 mOsm/ L.

ميلي مكافئات لكل لتر

الإلكتروليتات مهمة لتأثيراتها الكيميائية والفيزيائية (الأسموزية) والكه ربائية على الجسم. تعتمد تأثيراتها الكهربائية، التي

APPENDIX ح

PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS

اكتشف الكيميائيون فى القرن التاسع عشر أنه عندما رتبواالعناصر الم عروفة حسب الوزن الذرى، ظهرت بعض الخصائصدوريًا. فى عام 186 9، نشر الكيميائى الروسى ديمترى مندليفأول جدول دورى حديث للع ناصر، تاركًا فراغات للعناصر التى لمتُكتشف بعد. وقد تنبأ بدقة بخصا ئص العناصر المفقودة، مما ساعدالكيميائيين الآخرين على اكتشافها و عزلها.

كل صف فى الجدول هو *فترة* وكل عمود هو *مجموعة)عائلة(*. تحتوى كل فترة على غلاف إلكترونى واحد أكثر من الفترة الأعلى منها، ومع التقدم من اليسار إلى اليمين داخل الفترة، كل عنصر يحتوى على بروتون وإلكترون أكثر من العنصر السابق. الخط الداكن على شكل درجات من البورون)5(إلى الأستاتين)85(يفصل المعادن إلى يساره)باستثناء الهيدروجين(عن غير المعادن إلى يمينه. تبدأ كل فترة بمعادن قلوية ناعمة، خفيفة، نشطة جدًا، تحتوى على إلكترون تكافؤ واحد، فى العائلة IA. مع التقدم من اليسار إلى اليمين، تصبح الخصائ ص المعدنية للعناصر أقل وأقل وضوحًا. العناصر فى العائلة VIIA هى غازات نشطة جدًا تُسمى *الهالوجينات*، ولديها سبعة إلكترونات تكافؤ. العناصر فى العائلة VIIIA، التى تُسمى *الغازات النبيلة)الخاملة(*، تح توى على غلاف تكافؤ كامل مكون من ثمانية إلكترونات، مما يجعلها غ ير نشطة كيميائيًا.

تسعة وتسعون عنصراً تحدث طبيعياً على الأرض. لقد قام الفيزيائيون بابتكار عناصر حتى العدد الذرى 118 فى المختبر، لكن الاتحاد الدولى للكيمياء البحتة والتطبيقية قد اعتمد أسماء رسمية حتى العنصر 112 فقط حتى الآن. العناصر الأربعة والعشرون التى لها أدوار طبيعية فى فسيولوجيا ا لإنسان مُرمّزة بالألوان وفقًا لوفرتها النسبية فى الجسم)انظر الجدول 2 .1(. ومع ذلك، قد تكون هناك عناصر أخرى موجودة كملوثات ذات تأ ثيرات مدمرة جدًا)مثل الزرنيخ، الرصاص، وتسمم الإشعاع(.

المعادن الانتقالية

الفترة	IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	السابع ب	الثامن ب	الثامن ب	الثامن ب	الأول ب	الثانى ب	IIIA	IVA	VA	فيَا	فييَا	VIIIA
1	1 الهيدروجين هـ 1.0079																	2 الهيليوم He 4.0026
2	3 الليثيوم Li 6.941	4 البيريليوم Be 9.0122											5 البورون ب 10.811	6 الكربون ح 12.0112	7 النيتروجين ن 14.0067	8 الأكسجين أ 15.9994	9 الفلور F 18.9984	10 نيون Ne 20.179
3	11 صوديوم Na 22.989	12 المغنيسيوم Mg 24.305											13 الألمنيوم Al 26.9815	14 السيليكون نعم 28.086	15 الفوسفور P 30.9738	16 الكبريت S 32.064	17 كلور Cl 35.453	18 أرجون Ar 39.948
4	19 البوتاسيوم K 39.098	20 الكالسيوم Ca 40.08	21 الإسكنديم Sc 44.956	22 التيتانيوم Ti 47.90	23 الفاناديوم ف 50.942	24 كروم Cr 51.996	25 منغنيز Mn 54.938	26 حديد Fe 55.847	27 كوبالت Co 58.933	28 نيكل ني 58.71	29 النحاس Cu 63.546	30 الزنك Zn 65.38	31 الغاليوم Ga 69.723	32 الجرمانيوم Ge 72.59	33 الزرنيخ As 74.992	34 السيلينيوم Se 78.96	35 البروم Br 79.904	36 الكرابتون كر 83.80
5	37 روبيديوم Rb 85.468	38 سترونشيوم Sr 87.62	39 الإيتريوم Y 88.905	40 الزركونيوم Zr 91.22	41 النيوبيوم Nb 92.906	42 الموليبدينوم Mo 95.94	43 التكنيتيوم Tc (99)	44 الروثينيوم رو 101.07	45 روديوم Rh 102.905	46 بالاديوم Pd 106.4	47 فضة Ag 107.868	48 كادميوم Cd 112.40	49 إنديوم In 114.82	50 القصدير Sn 118.69	51 الأنتيمون Sb 121.75	52 التيلوريوم تي 127.60	53 اليود اى 126.904	54 زينون إكس إى 131.30
6	55 السيزيوم Cs 132.905	56 الباريوم Ba 137.34		72 الهافنيوم Hf 178.49	73 التنتالوم Ta 180.948	74 التنغستن W 183.85	75 الرينيم ري 186.2	76 أوزميوم أوس 190.2	77 إيريديوم إير 192.2	78 البلاتين Pt 195.09	79 الذهب Au 196.967	80 الزئبق زئبق 200.59	81 الثاليوم Ti 204.37	82 الرصاص Pb 207.19	83 البزموت بي 208.980	84 بولونيوم بو (209)	85 أستاتين أت (210)	86 رادون Rn (222)
7	87 فرانسيوم Fr (223)	88 راديوم Ra (226)		104 رذرفورديوم Rf (261)	105 هاّنيوم Ha (262)	106 سيبورجيوم سغ (263)	107 نيلسبوهريوم نس (261)	108 هاسيوم حس (265)	109 ميتنييريوم مت (266)									

57–71، اللانثانيدات

57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
اللانثانوم لا 138.91	السيريوم Ce 140.12	البراسيوديميوم Pr 140.907	نيوديميوم Nd 144.24	بروميثيوم Pm 144.913	ساماريوم Sm 150.35	اليوروبيوم Eu 151.96	الجادولينيوم Gd 157.25	تيربيوم Tb 158.925	ديسبروسيوم Dy 162.50	هولميوم Ho 164.930	إربيوم Er 167.26	ثوليوم Tm 168.934	إيتربيوم Yb 173.04	الليتيتيوم لو 174.97

٩٨–٣٠١، الأكتينيدات

89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
الأكتينيوم أس (227)	الثوريوم Th 232.038	البروتاكتينيوم Pa (231)	اليورانيوم U 238.03	نيبتونيوم Np (237)	بلوتونيوم Pu 244.064	الأمريسيوم Am (243)	الكوريوم Cm (247)	البركيليوم Bk (247)	كاليفورنيوم Cf 242.058	أينشتينيوم Es (254)	فيرميوم Fm 257.095	مندليفيوم Md 258.10	نوبليوم No 259.10	لورنسيوم لر 260.105

Key

1
الهيدروجين
هـ
1.0079

العدد الذرى
الاسم
Symbol
Atomic weight

نسبة من جسم الإن سانبالوزن 98.5%)

6 عناصر(0.8%)6 ع

ناصر(0.7%)12 ع

ناصر أثرية(

Not found naturally on earth

APPENDIX د

الشيفرة الجينية والأحماض الأمينية

الجدول D.1 يسرد 20 حمضًا أمينيًا تشارك فى تركيب البروتين، مع الرم
وز ذات الثلاثة أحرف والحرف الواحد المستخدمة فى كتابة تسلسلات الأ
حماض الأمينية (كما فى الشكل 2.25، على سبيل المثال). الجدول D.2
هو الشفرة الجينية، التى تربط بين كودونات mRNA والأحماض الأمينية.
لتحديد الحمض الأمينى المشفر بواسطة كودون mRNA معين، اختر ال
حرف الأول من الكودون من العمود على اليسار، والحرف الثانى من

الصف العلوى، والحرف الثالث من العمود على اليمين. رمز الحمض ا
لأمينى يكون عند تقاطع هذه الثلاثة. على سبيل المثال، الكودون GCU
يرمز إلى الألانين (Ala) وCAC يرمز إلى الهيستيدين (His). الكودونات
UAA وUAG وUGA هى كودونات توقف، والتى لا ترمز إلى أى ح
مض أمينى ولكنها تشير إلى نهاية الرسالة التى يجب ترجمتها، مثل ال
نقطة فى نهاية الجملة.

الجدول د.1 العشرين حمضًا أمينيًا ورموزها

لتر	ليو	الليوسين	أ	على	ألانين
K	Lys	لايسين	R	Arg	أرجينين
M	Met	ميثيونين	ن	Asn	أسباراجين
F	فهى	فينيل ألانين	د	أسب	أسبارتات
P	برو	برولين	ح	سيس	سيستين
S	سير	سيرين	إى	جلو	جلوتامات
ت	ثر	ثريونين	ق	جلن	جلوتامين
W	ترب	تريبتوفان	ح	جلايسين	جليسين
Y	تير	تيروزين	هـ	هيس	هيستيدين
ف	فال	فالين	آى	إيل	إيزوليوسين

الجدول د.2 الشيفرة الجينية

الموضع الثالث	الموضع الثانى				الموضع الأول
	U	ح	ح	أ	
أ	إيل	ثر	Arg	Lys	أ
ح	Met	ثر	Arg	Lys	
ح	إيل	ثر	سير	Asn	
U	إيل	ثر	سير	Asn	
أ	فال	على	جلايسين	جلو	ح
ح	فال	على	جلايسين	جلو	
ح	فال	على	جلايسين	أسب	
U	فال	على	جلايسين	أسب	
أ	ليو	برو	Arg	جلن	ح
ح	ليو	برو	Arg	جلن	
ح	ليو	برو	Arg	هيس	
U	ليو	برو	Arg	هيس	
أ	ليو	سير	توقف	توقف	U
ح	ليو	سير	ترب	توقف	
ح	فهى	سير	سيس	تير	
U	فهى	سير	سيس	تير	

? *يمثل الشيفرة الجينية التالية هرمونًا معروفًا، أنجيوتنسين II: UUU-CCC-CAC-AUA-UAU-GUA-AGG-GAC. تبدأ سلسلة الأحماض الأمينية التى تمثلها هذه الشيفرة بـ Phe-Pro ...... اكتب بقية السلسلة. (الإجابة موجودة فى الملحق أ.)*

هـ $H_2N-C-COOH$ CH_3 **ألانين**	هـ $H_2N-C-COOH$ $(CH_2)_3$ NH $C=N^+H_2$ NH_2 **أرجينين**	هـ $H_2N-C-COOH$ CH_2 $H_2N-C=O$ **أسباراجين**	هـ $H_2N-C-COOH$ CH_2 COOH **حمض الاسبارتيك**
هـ $H_2N-C-COOH$ CH_2 SH **سيستين**	هـ $H_2N-C-COOH$ CH_2 CH_2 COOH **حمض الجلوتاميك**	هـ $H_2N-C-COOH$ CH_2 CH_2 $H_2N-C=O$ **جلوتامين**	هـ $H_2N-C-COOH$ هـ **جليسين**
هـ $H_2N-C-COOH$ CH_2 $C-NH$ CH $HC-N$ **الهستيدين**	هـ $H_2N-C-COOH$ $H-C-CH_2$ CH_2 CH_3 **إيزوليوسين**	هـ $H_2N-C-COOH$ CH_2 CH H_3C CH_3 **الليوسين**	هـ $H_2N-C-COOH$ $(CH_2)_4$ $^+NH_3$ **لايسين**
هـ $H_2N-C-COOH$ CH_2 CH_2 S CH_3 **ميثيونين**	هـ $H_2N-C-COOH$ CH_2 (حلقة بنزين) **فينيل ألانين**	هـ $H_2N^+-C-COOH$ H_2C CH_2 C H_2 **برولين**	هـ $H_2N-C-COOH$ CH_2 OH **سيرين**
هـ $H_2N-C-COOH$ $H-C-OH$ CH_3 **ثريونين**	هـ $H_2N-C-COOH$ CH_2 $C=CH$ NH (حلقة بنزين) **تريبتوفان**	هـ $H_2N-C-COOH$ CH_2 (حلقة بنزين) OH **تيروزين**	هـ $H_2N-C-COOH$ CH H_3C CH_3 **فالين**

APPENDIX إى

جذور وكلمات طبية وألواحقها

- a لا، ليس، بدون)ذرة، كريات عديمة الحبيبات(
- ab بعيد)العصب المبعد، الاختطاف(
- acetabulo كوب صغير)الحُقّ، الحُقّ الحُقّى(
- acro طرف، نهاية، قمة)الأكروميوم، ضخامة الأكروم(
- ad إلى، نحو، قريب)الامتصاص، الغدة الكظرية(
- adeno غدة)التهاب العقد اللمفاوية، الغدة النخامية الأمامية(
- aero هواء، أكسجين)هوائى، لا هوائى(
af- نحو)الواصل(
ag- معًا)التجمع(
-al متعلق بـ)جدارية، بلعومية، زمنية(
- ala جناح)جناح الأنف(
- albi أبيض)المبيض، الخط الأبيض، ألبينو(
- algi ألم)مسكن الألم، ألم العضلات(
aliment- تغذية)معوى(
- allo آخر، مختلف)أليل، زرع من نفس النوع(
- amphi كلاهما، أى منهما)محب للماء والدهون، مفصل نصف متحرك(
- an بدون)لا هوائى، مصاب بفقر الدم(
1. - ana صعود، بناء)بناء الأيض، فرط الحساسية(
2. بعيد)الطور الانفصالى، التشريح(
3. خلف)التوصيل التشريحى(
أندرو- ذكر)الأندروجين(
أنجى- وعاء)تصوير الأوعية، رأب الأوعية، ورم وعائى(
أنتى- قبل، أمام)الساعد الأمامى(
أنتيرو- إلى الأمام)أمامى، تقدم أمامى(
أنتى- ضد)مضاد لإدرار البول، جسم مضاد، مضاد(
أبو- من، بعيد، فوق)غدى أبكراين، الأبوينوروزيس(
أربور- شجرة)شجرى، التشعب الشجرى(
أرتيك- 1. مفصل)التوصيل(
2. الكلام)التلفظ بوضوح(
-ارى متعلق بـ)إبطى، تاجى(
-آز إنزيم)بوليميراز، كيناز، أميلاز(
- astro ,- ast نجم)aster, astrocyte(
-اتا، -ات 1. يمتلك)حماتى، قرنى(
2. جمع -ا)ثغور، سرطانات(
أثيرو- دهن)تصلب الشرايين، تصلب الشرايين(
أتريو- مدخل)الأذين، أذينى بطينى(
أورى- أذن)أذينة، ثنائى الأذن(
أوتو- ذاتى)التحلل الذاتى، المناعة الذاتية(
أكسى- محور، خط مستقيم)محورى، محور خيطى، محور عصبى(
بارو- ضغط)مستقبل الضغط، عالى الضغط(
بينى- جيد، حسن)حميد، مفيد(
بى- اثنان)ثنائى القدم، العضلة ذات الرأسين، مشقوق(
بيلى- الصفراء)صفراوى، بيليروبين(
بايو- حياة، حى)علم الأحياء، خزعة، ميكروبى(
بلاستو- سلف، برعم، منتج)الخلية الليفية، الخلية العظمية، الخلية المنقسمة(
براكى- ذراع)الذراع، العضلة العضدية، الساعد(
برادى- بطىء)بطء القلب، بطء التنفس(بوكو
- خد)فموى، العضلة الماضغة(\انبورسو-
كيس)كيس، التهاب الكيس(كالسى
- كالسيوم، حجر)عظم الكعب، نقص كالسيوم الدم(كاللو
- سميك)ثفن، الجسم الثفنى(
كالورى- حرارة)سعرة حرارية، قياس الحرارة، مولد للحرارة(
كالفى-، كالفارى- أصلع، جمجمة)قبة الجمجمة(

كابيتو- رأس)رأس، رأسية، رأسية صغيرة(
كابنى- دخان، ثانى أكسيد الكربون)نقص ثانى أكسيد الكربون(
كارسينو- سرطان)مسرطن، سرطان(
كاردى- قلب)قلبى، علم القلب، التامور(
كاروت- 1. جزر)كاروتين(
2. غيبوبة)الشريان السباتى(
- carpo المعصم)carpus, metacarpal(
- case الجبن)caseosa, casein(
cata- أسفل، تحلل)catabolism(
- cauda الذيل)cauda equina, caudate nucleus(
cel - صغير)pedicel(
- celi البطن، جوف البطن)celiac(
- centri المركز، الوسط)centromere, centriole(
- cephalo الرأس)cephalic, encephalitis(
- cervi الرقبة، الجزء الضيق)cervix, cervical(
- chiasm تقاطع، شكل X (optic chiasm)
choano- قمع)choana(
- chole الصفراء)cholecystokinin, cholelithotripsy(
1. - chondro حبة)mitochondria(
2. غضروف، نسيج غضروفى)chondrocyte, perichondrium(
- chromo اللون)dichromat, chromatin, cytochrome(
- chrono الزمن)chronotropic, chronic(
- cili رمش العين)cilium, superciliary(
-circ حول، حولى)circadian, circumduction(
-cis قطع)incision, incisor(
cistern, cisterna خزان)Golgi cistern, cisterna chyli(
clast- تحطيم، تدمير)osteoclast(
- clavi مطرقة، هراوة، مفتاح)clavicle, supraclavicular(
cle- صغير)tubercle, corpuscle(
- cleido الترقوة)sternocleidomastoid(
- cnemo الساق السفلية)gastrocnemius(
co- معًا)coenzyme, cotransport(
1. - collo تل)colliculus(
2. الغراء)كوليد، كولاجين(
- contra عكس)مقابل فى الجانب الآخر(
corni- قرن)مقرن، قرنى، قرن(
corono- تاج)تاجى، إكليل، تاجى(
- corpo جسم)الجسم الأصفر، الأجسام الرباعية(
- corti لحاء، قشرة)قشرة، قشرى(
كُسْتَا- ضلع)بين الأضلاع، تحت الضلع(
كُوكْسَا- ورك)عظم الورك، الوركى(
كرانى- خوذة)جمجمة، عضلة فوق الجمجمة(
كريبرى- منخل، مصفاة)منخلية، المنطقة المنخلية(
كرينو- فصل، إفراز)هولوكرين، علم الغدد الصماء(
كريستا- قمة)قمة الديك، قمة الميتوكوندريا(
كريتو- للفصل)هيماتوكريت(
- cruci الصليب)الرباط الصليبى(
-culus ,cule صغير)canaliculus, trabecula, auricular(
- cune إسفين)cuneiform, cuneatus(
- cuti ,- cutane الجلد)تحت الجلد، القشرة(
- cysto المثانة)التهاب المثانة، استئصال المرارة(
- cyto الخلية)علم الخلايا، الانقسام الخلوى، الوحيدات(
de- نزول)التغوط، البلع، الجفاف(

نصف- نصف (demifacet، demilune)
سن-, سنى- سن (dentition، dens، dental)
شجيرى- شجرة، فرع (dendrite، oligodendrocyte)
جلدى-, جلدى- جلد (dermatology، hypodermic)
رباط- شريط، رباط، وتر (desmosome، syndesmosis)
عبر- 1. عبر، من خلال، منفصل (diaphragm، dialysis)
2. يوم (circadian)
غير- 1. منفصل (dissect، dissociate)
2. عكس، غياب (disinfect، disability)
مدر للبول- يمر عبر، يتبول (diuretic، diuresis)
ظهرى- ظهر (dorsal، dorsum، latissimus dorsi)
يحمل- يحمل (duct، adduction، abducens)
سىء- سىء، غير طبيعى، مؤلم (dyspnea، dystrophy)
خارج- خارج (ejaculate، eversion)
-ى متعلق بـ (arboreal، pineal)
خارج-, خارجى- خارج، من الخارج، خارجى (ectopic، ectoderm، splenectomy)
خارج- خارج من (efferent، effusion)
-elle صغير (fontanelle, organelle, micelle)
electro- كهرباء (electrocardiogram, electrolyte)
em- فى، داخل (embolism, embedded)
emesi-, emeti- تقيؤ (emetic, hyperemesis)
-emia حالة دم (anemia, hypoxemia)
en- فى، إلى داخل (enzyme, parenchyma)
encephalo- دماغ (encephalitis, telencephalon)
enchymo- مصبوب فى (mesenchyme, parenchyma)
endo- داخل، إلى الداخل، داخلى (endocrine, endocytosis)
entero- أمعاء، أمعاء دقيقة (mesentery, myenteric)
epi- فوق، على (epidermis, epiphysis, epididymis)
ergo- عمل، طاقة، فعل (allergy, adrenergic, synergist)
eryth-, erythro- أحمر (erythema, erythrocyte)
esthesio- إحساس، شعور (anesthetic, somesthetic)
eu- جيد، صحيح، طبيعى، سهل (eupnea, aneuploidy)
exo- خارج (exopeptidase, exocytosis, exocrine)
facili- سهل (facilitated)
fasci- شريط، حزمة (fascia, fascicle)
fenestr- نافذة (fenestrated)
fer- يحمل (efferent, uriniferous)
ferri- حديد (ferritin, transferrin)
fibro- ليف (fibroblast, fibrosis)
fili- خيط (myofilament, filiform)
flagello- سوط (flagellum)
foli- ورقة (folic acid, folia)
-form شكل (cuneiform, fusiform)
fove- حفرة، غمرة (fovea)
funiculo- حبل صغير، حبل (funiculus)
fusi- 1. مغزل (fusiform)
2. يَصُبّ (perfusion)
gamo- زواج، اتحاد (monogamy, gamete)
gastro- بطن، معدة (gastrointestinal, digastric)
gen, -genic, -genesis نتاج، التسبب فى (pathogen, carcinogenic, glycogenesis)
جينيو- الذقن (جينيوهيويد، جينيوغلوصوص)
جيرمى- 1. برعم، نبتة (جيرمينال، جيرميناتيفوم)
2. الميكروب (مبيد الجراثيم)
جيرو- الشيخوخة (الشيخوخة المبكرة، طب الشيخوخة، علم الشيخوخة)
جيستو- 1. الحمل، الحمل (الابتلاع)
2. الحمل (الحمل، البروجستيرون)
جليا- الغراء (الخلايا الدبقية العصبية، الخلايا الدبقية الدقيقة)
غلوبو- كرة، كرة (الجلوبيولين، الهيموغلوبين)
جلوم- كرة (الكبيبة)
غلوسو- اللسان (العصب اللسانى البلعومى، تحت اللسان)

غليكو- السكر (الجليكوجين، تحلل الجلوكوز، نقص سكر الدم)
غونو- 1. زاوية، ركن (المثلث)
2. البذرة، الخلية الجنسية، النسل (الغدد التناسلية، الأوجونيوم، السيلان)
غرادى- المشى، الخطوة (الارتجاعى، التدرج)
-غرام تسجيل (تخطيط القلب الكهربائى، السونوجرام)
-غراف جهاز التسجيل (جهاز السونار، جهاز تخطيط القلب الكهربائى)
-غرافى عملية التسجيل (التصوير بالموجات فوق الصوتية، التصوير الشعاعى)
غرافى- شديد، ثقيل (حامل، الوهن العضلى الوبيل)
جيرو- الدوران، الالتواء (التلفيف)
هالو- إصبع القدم الكبير (هالوكس)
هيماتو- الدم (علم الدم، تكوين الدم)
هيمى- نصف (الهيميديزموسوم، نصف الكرة)
-هيميا حالة دم (كثرة الحمر الحقيقية)
هيمو- الدم (الهيموفيليا، الهيموغلوبين)
هيتيرو- مختلف، آخر، متنوع (متغاير الزيجوت)
هيستو- نسيج، شبكة (علم الأنسجة، الهيستون)
holo- كامل، كامل (شامل، هولوكرين)
homeo- ثابت، غير متغير، موحد (توازن داخلى، حرارة ثابتة)
homo- نفس، مشابه (متماثل، متماثل الزيجوت)
هيالو- شفاف، زجاجى (هيالين، حمض الهيالورونيك)
هيدرو- ماء (الجفاف، التحلل المائى، كاره للماء)
هايبر- فوق، فوق الطبيعى، مفرط (فرط بوتاسيوم الدم، مفرط التوتر)
هيبو- تحت، تحت الطبيعى، ناقص (تحت المعدة، نقص صوديوم الدم، الغدة النخامية)
-يا حالة (فقر الدم، نقص كالسيوم الدم، تلين العظام)
-ى متعلق بـ (المفصلى، الطلائى)
-ic متعلق بـ (متساوى التوتر، تحللى، مولد الضد)
-icle, -icul صغير (عظمة صغيرة، قناة صغيرة، شبكى)
ilia- الجانب، الخاصرة (الحرقفة، الحرقفى)
-illa, -illus صغير (حليمة)
-in بروتين، مادة (تريبسين، فيبرين، ميلانين)
infra- تحت (تحت الشوكة، تحت الأحمر)
ino- ليف (تأثير ليفى، إينوزيتول)
insulo- جزيرة (جزيرة، إنسولين)
inter- بين (بين الخلايا، بين الفقرات)
intra- داخل (داخل الخلايا، داخل العين)
iono- أيون (تأثير أيونى، كاتيونى)
ischi- للحجز (عظم الورك، نقص التروية)
-ism 1. عملية، حالة، طرف (الأيض، الروماتيزم)
2. عقيدة، اعتقاد، نظرية (الشمولية، الاختزالية، الطبيعانية)
iso- نفس، متساوى (متساوى القياس، متساوى التوتر، متشابه التركيب)
-issimus الأكثر، الأعظم (لاتيسيموس، لونجيسيموس)
-ite صغير (تشعب عصبى، جسم جنينى)
-itis التهاب (التهاب الجلد، التهاب اللثة)
jug- للانضمام (مترافق، الوداجى)
juxta- بجانب (جوستاميدولارى، جوستاجلوميرولار)
kali- البوتاسيوم (نقص بوتاسيوم الدم)
karyo- بذرة، نواة (خلايا كبيرة النواة، النمط النووى)
kerato- قرن (الكيراتين، خلية قرنية)
kine- حركة، فعل (حركى، كيناز، انقسام السيتوبلازم)
labi- شفة (شفة، رافع الشفة)
lacera- ممزق، مقطوع (الثقب الممزق، تمزق)
lacrimo- دمعة، بكاء (الغدة الدمعية، القناة الدمعية الأنفية)
lacto- حليب (اللاكتوز، الرضاعة، البرولاكتين)
lamina- طبقة (الصفائح الخاصة، تدفق طبقى)
latero- جانب (ثنائى الجانب، نفس الجانب)
lati- عريض (لفافة الفخذ، لاتيسيموس دورسى)
-lemma قشرة (ساركوليما، نيوريليما)
lenti- عدسة (عدسى الشكل)
-ليت صغير (صفائح دموية)
ليوكو- أبيض (كريات الدم البيضاء، اللوكيميا)

levato- رفع (رافعة الشفة، ارتفاع)
ligo- ربط (رابط، رباط)
line- خط (الخط الأبيض، الخط الأسود)
litho- حجر (حجر الأذن، تفتيت الحصى)
-logy دراسة (علم الأنسجة، علم وظائف الأعضاء، علم الدم)
lucid- ضوء، واضح (الطبقة الشفافة، المنطقة الشفافة)
lun- قمر، هلال (هلالى، هلال صغير، نصف قمرى)
lute- أصفر (بقعة صفراء، الجسم الأصفر)
lyso-, lyto- تفكيك، تحلل (جسيم هضمى، تحلل مائى، إلكتروليت، تحلل دموى)
ماكرو- كبير (جزيء كبير، بلعة كبيرة)
ماكولا- بقعة (بقعة صفراء، بقعة كثيفة)
مالى- سيء (خبيث، سوء إطباق، مشوه)
مالى- مطرقة (مطرقة، كعب العظم)
مامو- ثدى (ثديى، حلمة الثدى)
mano- يد (يد، تلاعب)
مانوبرى- مقبض (مقبض العظم)
ماستو- ثدى (حُسْاشِي، تضخم الثدى عند الرجال)
ميدى- وسط (وسطى، المنصف، متوسط)
ميدولو- نخاع، لب (نخاع)
ميغا- كبير (خلية كبيرة، تضخم الكبد)
ميلانو- أسود (ميلانين، خلية صباغية، كآبة)
مينو- شهر (الحيض، انقطاع الطمث)
مينتو- ذقن (ذهنى، عضلة الذقن)
ميرو- جزء، مقطع (متساوى الأجزاء، مركز الكروموسوم، إفراز ميريكرين)
ميسو- فى الوسط (الطبقة الوسطى، المساريق)
ميتا- ما بعد، التالى فى سلسلة (الطور الاستوائى، عظم مشط اليد)
ميتابول- تغيير (الأيض، ناتج الأيض)
-ميتر جهاز قياس (مقياس الحرارة، مقياس التنفس)
ميترى- 1. طول، قياس (متساوى القياس، إبصار طبيعى)
2. رحم (بطانة الرحم)
ميكرو- صغير (دقيق، صغير الخلايا، خلايا دُبقية صغيرة)
ميتو- خيط، خيط رفيع (الميتوكوندريا، الانقسام الخلوى)
مونو- واحد (خلية وحيدة النواة، زواج أحادى، داء كثرة الوحيدات)
مورفو- شكل، هيئة، بنية (علم الأشكال، عِدِيم الشكل)
موتا- تغيير (مُحَوِّر، طفرة)
ميلو- 1. الحبل الشوكى (شلل الأطفال، الميالين)
2. نخاع العظم (نخاعى، نقيى)
myo-, mysi- عضلة (مايوغلوبين، ميوسين، إبيميسيوم)
natri- صوديوم (نقص صوديوم الدم، ناتريوريتك)
neo- جديد (حديث الولادة، تكوين الجلوكوز الجديد)
nephro- كلية (نيفرون، استسقاء الكلية)
neuro- عصب (أبونيروزيس، نيوروسوما، علم الأعصاب)
nucleo- نواة، لب (نوية، الحمض النووى)
oo- بيضة (تكوين البيض، بويضة)
ob- 1. حياة (هوائى، ميكروب)
2. ضد، نحو، قبل (طب التوليد، السدادة، انسداد)
oculo- عين (أوكولى، العصب الحركى للعين)
odonto- سن (أودونتوبلاست، حول السنى)
-oid مثل، يشبه (كولloid، سيغمويد، أميبى)
-ole صغير (شريان صغير، قصيبات، نوية)
oligo- قليل، ضئيل (أوليجو ببتيد، قلة البول)
-oma ورم، كتلة (سرطان، ورم دموى)
omo- كتف (أوموهيويد، أكروميوم)
onycho- ظفر، مخلب (هيبونكيوم، فطار الأظافر)
op- رؤية (بصريات، قصر النظر، ضوئى)
-opsy مشاهدة، رؤية (خزعة، رودوبسين)
or- فم (فموى، العضلة الدائرية للفم)
orbi- دائرة (عضلة دائرية، مدار العين)
organo- أداة، جهاز (عضو، عضية)
ortho- مستقيم (ضيق التنفس المستقيم، تقويم الأسنان، جراحة العظام)

-وز 1. مملوء بـ (دهن)
2. سكر (سكروز، جلوكوز)
-وسيس 1. عملية (الاسموز، الإخراج الخلوى)
2. حالة، مرض (ازرقاق، تخثر الدم)
3. زيادة (زيادة كريات الدم البيضاء)
أوزمو- دفع (الاسموز، كيمياء الاسموز)
أوسى-، أوستى- عظم (عظمى، هشاشة العظام)
أوتو- أذن (حجر الأذن، التهاب الأذن، الغدة النكفية)
-ous 1. ملىء بـ (نيتروجينى، وذمى)
2. متعلق بـ (مخاطى، عصبى)
3. مثل، يتميز بـ (حرشفى، خيطى)
ovo- بيضة (بويضة، مبيض، إباضة)
oxy- 1. أكسجين (نقص الأكسجة، أوكسيهيموغلوبين)
2. حاد، سريع (أوكسيتوسين)
palli- شاحب (شحوب، الكرة الشاحبة)
palpebro- جفن (الجفون)
pan- كل (قصور الغدة النخامية الكلى، بنكرياس)
panni- قماش، خرقة (النسيج المتقرن، النسيج تحت الجلد)
papillo- حلمة (حلمة، حليمى)
par- ولادة (ما بعد الولادة، الوضع، متعدد الولادات)
para- بجانب (الغدة الجار درقية، الغدة النكفية)
parieto- جدار (جدارى)
patho- 1. مرض (علم الأمراض، مسبب المرض)
2. إحساس (تعاطفى)
pecto- 1. صدر (عضلة الصدر)
2. مشطية الشكل (عضلة المشطية)
pedi- 1. قدم (ثنائى القدم، ساقية)
2. طفل (طب الأطفال)
pelvi- حوض (الحوض، الحوضى)
-penia نقص (قلة الكريات البيضاء، قلة الصفيحات)
penna- ريشة (أحاد الريش، ثنائى الريش)
peri- حول (الغشاء العظمى، الصفاق، حول اللثة)
perone- الشظية (العصب الشظوى الثالث، العصب الشظوى)
phago- أكل (البلعمة، البلعمة الكبيرة)
philo- محب، منجذب إلى (محب للماء، محب للقطبين)
phobo- خائف، منفر من (كاره للماء)
phor- يحمل، ينقل (التعرق، الرحلان الكهربائى)
phragm- حاجز (الحجاب الحاجز)
phreno- الحجاب الحاجز (العصب الحجابى)
physio- طبيعة، سبب طبيعى (علم وظائف الأعضاء، طبيب)
-physis نمو (النمو الطولى للعظم، الغدة النخامية)
pilo- شعر (انتفاخ الشعر)
pino- شرب، امتصاص (الابتلاع الخلوى)
planto- باطن القدم (عضلة الأخمص، الثآليل الأخمصية)
plasi- نمو (فرط التنسج، ورم جديد)
plasm- مشكل، مصبوب (السيتوبلازم، الشبكة الإندوبلازمية)
plasti- شكل (ثرومبوبلاستين)
platy- مسطح (عضلة الرقبة المسطحة)
pnea- التنفس، التنفس الطبيعى (التنفس الطبيعى، ضيق التنفس)
pneumo- الهواء، التنفس، الرئة (الالتهاب الرئوى، استرواح الصدر)
podo- القدم (القدم الكاذبة، الخلية القدمية)
poies- تشكيل (تكوين الدم، إريثروبويتين)
poly- كثير، متعدد، مفرط (بولى ببتيد، بولى يوريا)
primi- أول (أولى، برمبارا، بدائى)
pro- 1. قبل، أمام، أول (بروكاريوت، طور التمهيد، غدة البروستاتا)
2. تعزيز، تفضيل (بروجستيرون، برولاكتين)
pseudo- زائف (زوائد كاذبة)
psycho- عقل (ذهان، جسدى نفسى)
ptero-, pterygo- جناح (جناحى)
-ptosis هبوط، سقوط، ترهل (موت الخلايا المبرمج، هبوط الكلية)
puncto- نقطة (نقاط)

pyro- نار (مولد الحرارة، مضاد للحمى)

quadri- أربعة (عضلة رباعية الرؤوس، رباعى)

quater- رابع (رباعى)

radiat- مشع (التاج المشع corona radiata)

rami- فرع (ramus)

recto- مستقيم (عضلة البطن المستقيمة rectus abdominis، المستقيم rectum)

reno- كلية (كلوى renal، الرينين renin)

reti- شبكة (شبكى reticular، شبكة الخصية rete testis)

retinac- مثبت، سوار (رباط retinaculum)

retro- خلف، إلى الوراء (خلف الصفاق retroperitoneal، فيروس رجعى retrovirus)

rhombo- معين (عضلة المعين rhomboideus، دماغ المعين rhombencephalon)

rubo-, rubro- أحمر (البيليروبين bilirubin، الحبل الشوكى الأحمر rubrospinal)

rugo- طية، تجعد (طية ruga، العضلة المجعدة corrugator)

sacculo- كيس صغير (كيس saccule)

sarco- لحم، عضلة (الساركوبلازم sarcoplasm، الساركومير sarcomere)

scala- سلم (سلم الطبلة scala tympani)

sclero- صلب، قاس (صلبة sclera، تصلب sclerosis)

scopo- رؤية (ميكروسكوب microscope، تنظير endoscopy)

secto- قطع (مقطع section، تشريح dissection)

semi- نصف (شبه قمرى semilunar، شبه غشائى semimembranosus)

sepsi- عدوى (تعقيم asepsis، تسمم دموى septicemia)

-sis عملية (عبور الخلايا diapedesis، بزل السلى amniocentesis)

sole- صندل، باطن القدم، سمك مسطح (نعل sole، عضلة النعل soleus)

soma-, somato- جسم (جسدى somatic، هرمون النمو somatotropin)

spheno- إسفين (الوتدى sphenoid)

spiro- تنفس (شهيق inspiration، قياس التنفس spirometry)

splanchno- أحشاء (أحشائى splanchnic)

spleno- 1. ضمادة (عضلة السبلينيوس الرأسى splenius capitis)

2. طحال (الشريان الطحالى splenic artery)

squamo- قشرى، مسطح (حرشفى squamous، تقشر desquamation)

stasi-, stati- وضع، بقاء، ثبات (توقف النزف hemostasis، توازن داخلى homeostatic)

steno- ضيق (تضيق stenosis)

ster-، stereo- صلب، ثلاثى الأبعاد (ستيرويد، ستيريوسكوبك)

sterno- صدر، تجويف الصدر (عظم القص، العضلة القصية الترقوية الخشائية)

stria- شريط (مخطط، الجسم المخطط)

sub- تحت (تحت الجلد، تحت الترقوة)

sulc- أخدود، تجويف (الأخدود)

supra- فوق (فوق الشوكة، فوق الترقوة)

sura- ربلة الساق (عضلة ثلاثية الرؤوس للساق)

sym- معًا (الجهاز العصبى الودى، التآزر)

syn- معًا (التحام العظام، التآزر الخلوى)

tachy- سريع (تسرع القلب، تسرع التنفس)

tarsi- الكاحل (رسغ القدم، مشط القدم)

tecto- سقف، غطاء (الغشاء السقفى، السقف)

telo- آخر، نهاية (الطور النهائى، الدماغ النهائى)

tempo- زمن (الصدغى)

terti- الثالث (الثانوى)

theli- الحلمة، أنثى، رقيق (الطهارة، تعدد الحلمات)

thermo- حرارة (توليد الحرارة، تنظيم الحرارة)

thrombo- جلطة دموية (تخثر الدم، الثرومبين)

thyro- درع (الغدة الدرقية، الغدة الدرقية اللامية)

-tion عملية (الدوران، الاستلقاء)

toci- الولادة (الأوكسيتوسين)

tomo- 1. قطع (التصوير المقطعى، الذرة، التشريح)

2. القطاع (الجلدى، العضلى، العظمى)

tono- قوة، توتر (متساوى التوتر، توتر، اعتلال التوتر العضلى)

topo- مكان، موقع (نظير، خارج الموضع)

ترا6o- صفيحة (تربيكولا)

ترانس- عبر (النتح، عبر الجلد)

تراپزى- 1. طاولة، سطح طحن (تراپزيوم)

2. شبه منحرف (تراپزياس)

ترى- ثلاثة (ترايسبس، ثلاثى الجليسريد)

تريكو- شعر (تريكو سيديرين، محيط الشعر)

تروخو- عجلة، بكرة (تروكليا)

تروف- 1. طعام، تغذية (تروفى، تروفوبلاست)

2. نمو (ديستروفى، تضخم)

تروبو- للدوران، التغيير (ميتابوتروبيك، جونادوتروبين)

تونيكا- غلاف (تونيكا إنتيما، تونيكا فاجيناليس)

تيمبانو- طبلة، غشاء طبلة الأذن (تيمبانيك، تنسور تيمبانى)

-ول صغير (تربيكولا، تيوبول، كابيتولوم، غلوميرولوس)

-أنكل، -أنكولوس صغير (هومونكولوس، كارونكل)

يونى- واحد (يونى بينيت، يونى بولار)

يورى- بول (جلوكوزوريا، تحليل البول، مدر للبول)

يوتريكولو- كيس صغير (يوتريكولوس)

فاجينو- غمد (انفاجينيت، تونيكا فاجيناليس)

فاجو- تجول (فاجوس)

فاسو- وعاء (وعائى، واس ديفيرنس، فاسا ركتا)

فينترو- بطن، الجزء السفلى (فينترال، فينتريكول)

فيرمى- دودة (فيرميس، الزائدة الدودية الدودية الشكل)

فيرتيبرو- عمود فقرى (فرتيبرا، بين الفقرات)

فيسيكو- مثانة، بثرة (فيسيكل، فيسيكولار)

فيلو- شعر، مشعر (ميكروفيلو)

فيترى- زجاج (إن فيترو، السائل الزجاجى)

فيفى- حياة، حى (إن فيفو، إحياء)

زيغو- اتحاد، انضمام، تزاوج (زيغوماتيك، زيغوت، أزيغوس)

مسرد المصطلحات

التنفس الهوائى أكسدة المركبات العضوية فى سلسلة تفاعلات تتطلب الأكسجين وتنتج ATP.
الواصل)آف-ير-نت(يحمل نحو، كما فى وعاء دموى يحمل الدم نحو نسيج أو ليف عصبى ينقل الإشارات نحو الجهاز العصبى المركزى.
التكتل)آه-غلو-تى-ناى-شن(تجمع الخلايا بواسطة الأجسام المضادة.
الألبومين)آل-بيو-مين(فئة من البروتينات الصغيرة تشكل حوالى 60% من جزء البروتين فى بلازما الدم؛ تلعب أدوارًا فى لزوجة الدم، الضغط الاسموزى الغروانى، ونقل المذاب.
الألدوستيرون)آل-دو-ستيه-رون، آل-دوس-تى-رون(هرمون ستيرويدى يفرزه قشرة الغدة الكظرية ويؤثر على الكلى لتعزيز احتباس الصوديوم وإفراز البوتاسيوم.

القلوية اختلال فى توازن الحمض والقاعدة حيث يرتفع الرقم الهيدروجينى للدم فوق 7.45.
الأليل)آه-ليل(أى من الأشكال البديلة التى يمكن أن يتخذها جين واحد، مثل الأليلات السائدة والمتنحية.
الحويصلة)أل-فى-أوه-لوس(**1.** كيس هوائى مجهرى فى الرئة. **2.** غدة أسينية. **3.** تجويف السن. **4.** أى فراغ تشريحى صغير.
حمض امينى جزىء عضوى صغير يحتوى على مجموعة أمينية ومجموعة كربوكسيل؛ الأحماض الأمينية هى الوحدات البنائية التى تتكون منها البروتينات، وتؤدى أيضًا وظائف كناقلات عصبية وأدوار أخرى.
ناقلات عصبية وأدوار أخرى.
الأغشية المحيطة بالجنين كيس شفاف يحيط بالجنين \وسائل السلى.
أمفيباثيك)AM-fih-PATH-ic(يتعلق بجزىء يحتوى على مناطق محبة للماء ومناطق كارهة للماء، مثل الفسفوليبيدات، أحماض الصفراء، وبعض البروتينات.
الأمبولة)am-PULL-uh(جزء واسع أو كيس من عضو أنبوبى مثل القناة نصف الدائرية أو قناة الرحم.
البناء الحيوى)ah-NAB-oh-lizm(أى تفاعلات أيضية تستهلك الطاقة وتبنى جزيئات أكثر تعقيدًا ذات طاقة حرة أعلى من جزيئات أقل تعقيدًا ذات طاقة حرة أقل؛ على سبيل المثال، تخليق البروتينات من الأحماض الأمينية. قارن مع الهدم الحيوى.

التخمر اللاهوائى)AN-err-OH-bic(تفاعل اختزالى مستقل عن الأكسجين يحول البيروفات إلى لاكتات ويسمح باستمرار تحلل الجلوكوز تحت ظروف لا هوائية.

التوصيل التشريحى (ah-NASS-tih-MO-sis) تقارب تشريحى، عكس

عملية تطورية تؤدى إلى **1.** **التكيف** تأسيس خصائص الأنواع التى تفضل البقاء والتكاثر. **2.** أى خاصية فى التشريح أو الفسيولوجيا أو السلوك تعزز البقاء و التكاثر. **3.** عملية حسية يقوم فيها المستقبل بضبط حساسيته أو استجابته لمستوى التحفيز السائد، مثل التكيف مع الظلام فى العين.
المناعة التكيفية نظام دفاعات محددة ضد الممرضات، يتطور عند التعرض الأول لمستضد وى تضمن ذاكرة خلوية واستجابات معجلة للممرض عند التعرض اللاحق، مما يمنع أو يقلل من المرض.

يشمل أنواعًا مختلفة من الخلايا اللمفاوية T و B، خلايا البلازما، والأجسام المضادة. *قارن* المناعة الفطرية.
الإضافة)ad-DUC-shun(حركة جزء من الجسم نحو المستوى المتوسط، مثل جمع القدمين معًا من وضعية الأرجل المفرقة. الشكل 9.13
أدينوسين ثلاثى الفوسفات)ATP((ah-DEN-o h-seen tri-FOSS-fate) جزىء يتكون من أدينين، ريبوز، وثلاث مجموعات فوسفات يعمل كجزىء نقل طاقة عالمى؛ ينتج أدينوسين ثنائى الفوسفات)ADP(ومجموعة فوسفات غير عضوية)Pi(عند التحلل المائى. الشكل 2.29a
أدينيلات سيكلاز)ah-DEN-ih-late SY-clase(إنزيم فى غشاء البلازما يصنع أدينوسين أحادى الفوسفات الحلقى)cAMP(عن طريق إزالة مجموعتين فوسفات من ATP؛ مهم فى تفعيل نظام الرسول الثانى cAMP.

خلية دهنية)AD-ih-po-site(خلية دهنية.
النسيج الدهنى نسيج ضام يتكون غالبًا من الخلايا الدهنية؛ الدهون.
أدرينيرجى)AD-ren-UR-jic(متعلق بالنورابينفرين)NE(والإبينفرين، كما فى الألياف العصبية الأدرينرجية التى تفرز NE، المستقبلات الأدرينرجية التى ترتبط به، والتأثيرات الأدرينرجية على العضو المستهدف.
هرمون قشر الكظر المنشط)ACTH(هرمون تفرزه الغدة النخامية الأمامية يحفز قشرة الغدة الكظرية على إفراز الكورتيزول والغلucocorticoids الأخرى؛ واحد من هرمونات التوتر.
الامتزاز ارتباط مادة واحدة بسطح مادة أخرى دون أن تصبح جزءًا من الأخيرة. *قارن* الامتصاص.

التمرين الهوائى)إير-أوه-بيك(التمرين الذى يُستخدم فيه الأكسجين لإنتاج ATP؛ تمرين التحمل.

A

التجويف البطنى التجويف الجسدى بين الحجاب الحاجز وحافة الحوض. الشكل A.5
الاختطاف)ab-DUC-shun(حركة جزء من الجسم بعيدًا عن المستوى الوسيط، كما فى رفع ذراع بعيدًا عن جانب الجسم. الشكل 9.13
عملية يمر فيها مادة كيميائية **1.** **الامتصاص** عبر غشاء أو سطح نسيجى وتندمج فى سائل أو نسيج الجسم. **2.** أى عملية تمر فيها مادة واحدة إلى أخرى وتصبح جزءًا منها.

قارن الامتزاز.
أسيتيل كولين)ACh( )أس-إيه-إس-إى-تيل-كو-لين(ناقل عصبى يُفرز بواسطة ألياف الحركة الجسدية، والألياف اللاودية، وبعض الخلايا العصبية الأخرى، ويتكون من الكولين ومجموعة أسيتيل. الشكل 12.22
أسيتيل كولين إستراز)AChE( )أس-إيه-إس-إى-تى ل-كو-لين-إس-تير-آز(إنزيم يحلل الأسيتيل كولين، مما يوقف نقل الإشارة عند المشبك الكولينى.
حمض مانح بروتون)H^+(؛ مادة كيميائية تُطلق البروتونات فى المحلول.
الحماض اختلال فى توازن الحمض-القاعدة حيث يكون رقم الحموضة فى الدم أقل من 7.35.
الحويصلة)أس-إيه-إس-إيه-نوس(كيس من الخلايا الإفرازية فى النهاية الداخلية لقناة الغدة. الشكل 5.30
الأكتين بروتين خيطى داخل خلوى يوفر دعمًا للهيكل الخلوى ويتفاعل مع بروتينات أخرى، خاصة الميوسين، لإحداث حركة خلوية؛ مهم فى انقباض العضلات والأفعال الغشائية مثل البلعمة، الحركة الأميبية، والانقسام الخلوى. الشكل 11.3

الحركة الحركة الناتجة عن انقباض عضلة معينة، أو دورها فى منع حركة غير مرغوب فيها؛ وظيفة العضلة.
جهد الفعل تغير سريع فى الجهد الكهربائى حيث تعكس غشاء البلازما لفترة وجيزة القطبية الكهربائية؛ له تأثير ذاتى الانتشار ينتج موجة تنبيه متحركة فى خلايا الأعصاب والعضلات.
الموقع النشط منطقة فى البروتين ترتبط بجزىء مرتبط، مثل موقع ارتباط الركيزة فى الإنزيم أو موقع ارتباط الهرمون فى المستقبل.
النقل النشط نقل الجسيمات عبر غشاء نفاذ انتقائى، عكس تدرج التركيز، بمساعدة ناقل يستهلك ATP.

حاد يتعلق بمرض ذو بداية مفاجئة، أعراض شديدة، ومدة قصيرة. *قارن* مزمن.

الأذينان والبطينان فى القلب؛ كان الصمام الأذينى ا
لبطينى الأيسر يُعرف سابقًا باسم الصمام ثنائى ال
شرف.
ضمور)AT-ro-fee(انكماش نسيج بسبب ا
لعمر أو عدم الاستخدام أو المرض.
الأجسام المضادة الذاتية جسم مضاد يفشل
فى التمييز بين جزيئات الجسم الخاصة والجزيئا
ت الأجنبية، وبالتالى يهاجم أنسجة المضيف
، مما يسبب أمراض المناعة الذاتية.
مرض المناعة الذاتية أى مرض تفشل فيه الأج
سام المضادة فى التمييز بين المستضدات الأجن
بية والذاتية وتهاجم أنسجة الجسم الخاصة؛ على
سبيل المثال، الذئبة الحمراء الجهازية
الحمامية الرئوية والحمى الروماتيزمية.
التحلل الذاتى)aw-TOLL-ih-sis(هضم الخلايا
بواسطة إنزيماتها الداخلية الخاصة.
الجهاز العصبى الذاتى)ANS( )AW-toe-NOM-
ic(قسم حركى من الجهاز العصبى ي
عصب الغدد والعضلات الملساء وعضلة القلب؛
يتكون من القسمين الودى واللاودى ويعمل إل
ى حد كبير بدون تحكم إرادى. قارن مع الجهاز ا
لعصبى الجسدى.

التنظيم الذاتى قدرة النسيج على تعديل إمداد الدم الخاص به م
ن خلال حركة الأوعية الدموية أو تكوين الأوعية الجديدة)تكوّ
ن الأوعية(.
الصبغى الجسدى)AW-toe-some(أى صب
غى باستثناء الصبغيات الجنسية. تُورث الجي
نات على الصبغيات الجسدية بغض النظر عن ج
نس الفرد.
عديم الأوعية الدموية خالٍ من الأوعية الدموية، كما
فى الطهارة والغضاريف.
محورى)AC-see-ul(يتعلق بالرأس، الرقبة،
والجذع؛ الجزء من الجسم باستثناء
الجزء الزائدى. الشكل 8.1
إبطى)ACK-sih-LERR-ee(متعلق بالإبط.

نهاية المحور العصبى الطرف المتورم فى نهاية المحور
العصبى البعيدة؛ موقع الحويصلات المشبكية وإ
فراز الناقلات العصبية. الشكل 12.21
محور الهدب النواة المركزية للهدب أو السوط، تتكون
من الأنابيب الدقيقة؛ مرتبة فى صف دائرى من ت
سعة أزواج من الأنابيب الدقيقة، وفى الأهداب الم
تحركة والأهداب السوطية، يوجد زوج آخر من الأ
نابيب الدقيقة فى مركز الدائرة.

ب

مستقبل الضغط)BER-oh-re-SEP-tu
r(حساس ضغط قلبى وعائى يُحفز ر
دود الفعل الذاتية استجابة لتقلبات ضغط الدم؛
توجد مستقبلات الضغط فى القلب، وقوس الأ
بهر، وجيوب الشريان السباتى.
السطح القاعدى السطح الأدنى للخلية الطلائي
ة، متصل إما بغشاء قاعدى أو بخلية طلائية تح
تها.
الشكل 3.4
قاعدة .1 مادة كيميائية ترتبط بالبروتونات من الم
حلول؛ مستقبل للبروتونات. **.2** أى من البيورينا
ت أو البيريميدينات فى الحمض النووى)الأد
ينين، الثيمين، الجوانين، السيتوزين، أو

إثارة استجابة مناعية؛ وعادة ما يكون
بروتينًا أو جليكوبروتينًا أو جليكوليبيدًا.
خلية عارضة للمستضد)APC(خلية تقوم
بابتلاع المستضد وعرض
قطع منه على سطحها ليتم التعرف عليها
من قبل خلايا أخرى فى الجهاز المناعى؛ وخاصة
البلعميات والخلايا اللمفاوية B.
مضاد النقل بروتين نقل مشترك يحرك اثنين أو
أكثر من المذابّات فى اتجاهين متعاكسين عبر
غشاء خلوى، مثل مضخة $Na^+–K^+$.
السطح القمى السطح الأعلى للخلية الطلائية، و
عادة ما يكون معرضًا لتجويف عضو ما. الشكل 3.
4
أبوكرين يتعلق ببعض الغدد العرقية ذات التجاويف
الكبيرة والإفرازات العطرية السميكة نسبيًا، و
كذلك الغدد المشابهة مثل الغدة الثديية؛ سُم
يت بناءً على اعتقاد خاطئ أنها تُكوّن الإفرازات ع
ن طريق قرص أجزاء من السيتوبلازم القمى.

موت الخلايا المبرمج)AP-op-TOE-sis(موت ا
لخلايا المبرمج؛ الموت الطبيعى للخلايا التى
أكملت وظيفتها. *قارن* النخر.
تابع الأطراف)AP-en-DIC-you-lur(يتعلق
بالأطراف وأحزمة الهيكل العظمى الداعمة لها.
الشكل 8.1
النسيج الهوائى)AIR-ee-OH-lur(نس
يج ضام ليفى ذو ألياف وخلايا مرتبة بشكل فض
فاض ومتباعدة على نطاق واسع ومساحات
وفيرة مملوءة بالسوائل؛ يوجد تحت كل طه
ارة تقريبًا، من أماكن أخرى. الشكل 5.14
عضلة مرفعة عضلة ملساء مرتبطة بكل جريب شع
رى وتعمل على رفع الشعر.
الشكل 6.8
الشريان الصغير)ar-TEER-ee-ole(شريان
صغير يفرغ فى شريان متوسط أو شعيرى.
تصلب الشرايين)ar-TEER-ee-o-sclair-O-sis
(تصلب الشرايين المرتبط بالعمر أو العمليات ا
لمرضية، ناتج بشكل رئيسى عن تلف التراكما
ت الناتجة عن الجذور الحرة وتدهور الأنسجة.
قارن تصلب الشرايين التصلبى.
الغضروف المفصلى طبقة رقيقة من الغضرو
ف الزجاجى تغطى السطح المفصلى لعظم ف
ى مفصل زليلى، تعمل على تقليل الاحتكاك
وتسهيل حركة المفصل. الشكل 9.5
المفصل مفصل هيكلى؛ أى نقطة تلتقى فيها عظمتان؛
قد يكون متحركًا أو غير متحرك.
الجانب وجهة نظر معينة للجسم أو لأحد أجزائه أو
جزء يواجه اتجاهًا معينًا، مثل الجانب الأمامى
.
تصلب الشرايين التصلبى)ATH-ur-oh-skleh
ROE-sis-(مرض تنكسى للأوعية ا
لدموية يتميز بوجود ترسبات دهنية؛ غالبًا ما يؤد
ى إلى تكلس جدار الوعاء وعرقلة الشرايين التاج
ية أو الدماغية أو الشرايين الحيوية الأخرى. *قار
ن تصلب الشرايين.*
العقدة الأذينية البطينية)AV( )AY-tree-oh-ven
TRIC-you-lur-(مجموعة من الخلايا ذات الإي
قاع الذاتى فى الحاجز بين الأذينين فى القلب
تنقل الإثارة من الأذينين إلى البطينين.
الصمامات الأذينية البطينية)AV(الصمام الميترالى)ا
لأيسر(والصمام ثلاثى الشرفات)الأيمن(بين

فرع؛ نقطة تلتقى فيها وعاءان دمويان ويندم
جان مع تدفق دمهما أو حيث يلتقى عصبان أ
و قناتان.
الشكل 20.11
الوضع التشريحى وضع مرجعى يسمح
باستخدام مصطلحات تشريحية موحدة.
الشخص فى الوضع التشريحى
واقف والقدمان مسطحتان على الأرض، والذراعان
ممدودتان إلى الجانبين، والكفان والعينان
متجهتان إلى الأمام. الشكل 8.1
الأندروجين)آن-درو-جين(التستوستيرون أو هرمون س
تيرويدى مرتبط به. يحفز التغيرات الجسدية عند البلو
غ فى كلا الجنسين، والرغبة الجنسية لدى البالغ
ين فى كلا الجنسين، وتطور التشريح الذكرى فى ا
لجنين والمراهق، وتكوين الحيوانات المنوية.
تمدد الأوعية)آن-يو-ريزم(نقطة ضعيفة ومنتفخة
فى جدار حجرة القلب أو وعاء دموى
تشكل تهديدًا للنزيف.
تكوّن الأوعية الدموية الجديدة (AN-jee-oh-GEN-eh
sis-) نمو أوعية دموية جديدة.
أنجيوتنسين II)AN-jee-oh-TEN-sin(هرمون يُن
تج من الأنجيوتنسينوجين)بروتين بلازمى(
بواسطة الكليتين والرئتين؛ يرفع ضغط الدم عن
طريق تحفيز تضيق الأوعية الدموية وتحفيز ق
شرة الغدة الكظرية لإفراز الألدوستيرون.

أنيون)AN-eye-on(أيون يحتوى على إلك
ترونات أكثر من البروتونات وبالتالى يحمل شح
نة سالبة صافية.
مضاد .1 عضلة تعارض العضلة الفاعلة)الأغو
نيست(فى المفصل. **.2** أى عامل، مثل هرمون أ
و دواء، يعارض آخر.
تأثير مضاد .1 تأثير يحدث عندما يعار
ض هرمونان أو نواقل عصبية أو أقسام من الج
هاز العصبى بعضها البعض وينتجان تأثيرات
معاكسة على خلية أو عضو مستهدف. **.2** تأ
ثير يقوم فيه دواء بحجب أو معارضة عمل أحد آ
ليات الإشارة الخاصة بالجسم.

الساعد)AN-teh-BRAY-kee-um(المنطقة
من الكوع إلى المعصم؛ الساعد.
أمامى متعلق بالجانب الأمامى)الوجهى-البطنى(من
الجسم؛ بطنى.
الجذر الأمامى فرع من أعصاب الحبل الشوكى يخر
ج من الجانب الأمامى للحبل الشوكى ويحمل أ
لياف عصبية صادرة)حركية(؛ يُسمى غالبًا *الجذر
البطنى*. الشكل 13.2ب
جسم مضاد بروتين من فئة الغلوبولينات غاما يتفاع
ل مع مستضد ويساعد فى
حماية الجسم من آثاره الضارة؛ توجد فى بلازما
الدم، وفى سوائل الجسم الأخرى، وعلى أس
طح بعض الكريات البيضاء ومشتقاتها.

هرمون مضاد لإدرار البول)ADH(*(AN-tee-DY
E-you-RET-ic) هرمون يُفرز من الف
ص الخلفى للغدة النخامية استجابة لانخ
فاض ضغط الدم؛ يعزز احتباس الماء بواسط
ة الكلى. ويُعرف أيضًا باسم أرجينين فازوبريسين.*

مستضد)AN-tih-jen(أى جزىء كبير قادر
على الارتباط بجسم مضاد أو خلايا مناعية و

النقل بواسطة الحامل أي عملية نقل المواد ع
بر غشاء خلوي تشمل ارتباطًا عكسيًا ببرو
تين ناقل.

التحلل)ca-TAB-oh-lizm(أي تفاعلات أي
ضية تُطلق الطاقة وتفكك الجزيئات المع
قدة نسبيًا ذات الطاقة الحرة العالية إلى جزيئا
ت أقل تعقيدًا ذات طاقة حرة أقل؛ مثل اله
ضم والجليكوليسيس. *قارن البناء.*

الكاتيكولامين (CAT-eh-COAL-uh-meen)
فئة فرعية من الأمينات البيوجينية التي تشمل
الأدرينالين، النورأدرينالين، والدوبامين.
الشكل 12.22

الكاتيون)CAT-eye-on(أيون يحتوي على بر
وتونات أكثر من الإلكترونات وبالتالي يحمل شحنة
موجبة صافية.

الذيلية (CAW-dul) **1.** متعلق بالذيل أو جزء
ضيق يشبه الذيل من عضو ما. **2.** متعلق بالجزء ا
لسفلي من جذع الجسم، حيث ينشأ ذيل الحي
وانات الأخرى.
قارن القحفي. **3.** بعيد نسبيًا عن الجبهة، خا
صة فيما يتعلق بهياكل الدماغ والحبل ال
شوكي؛ على سبيل المثال، النخاع المستطي
ل يقع ذيليًا بالنسبة للجسر. *قارن الأنفي.*

البطني)SEEL-ee-ac(متعلق بالب
طن.
**الجهاز العصبي المركزي)CNS(الدماغ والحبل ا
لشوكي.**
المريكز)SEN-tree-ole(عضية تتكون من أ
سطوانة قصيرة من تسع مجموعات ثلاثية من
الأنابيب الدقيقة، عادة ما تكون مزدوجة مع
سنتريول آخر عمودي عليها؛ مصدر المغزل ا
لانقسامي؛ مماثل للجسم القاعدي لأهداب أو
سوط. الشكل 3.33
رأسي)seh-FAL-ic(متعلق بالرأس.
المخيخ)SER-eh-BELL-um(جزء كبير من الد
ماغ يقع خلف جذع الدماغ وأسفل المخ، مس
ؤول عن التوازن، التنسيق الحركي، وذاكرة
المهارات الحركية المكتسبة. الشكل 14.11

السائل الدماغي الشوكي)CSF( )SERR-eh-bro-S
PY-ul, seh-REE-bro-SPY-nul(سائل يمل
أ بطينات الدماغ، القناة المركزية للحبل الشوكي،
والمساحة بين الجهاز العصبي المركزي والأم
الجافية.
المخ)seh-REE-brum, SERR-eh-brum(أكبر
وأعلى جزء في الدماغ، مقسم إلى نصفي كرة
دماغيين ملتفين مفصولين بشق طول
ي عميق.

عنقي)SUR-vih-cul(متعلق بالرقبة أو جزء
ضيق)عنق(من بعض الأعضاء.
عنق (SUR-vix) **1.** الرقبة. **2.** جزء ضيق أو يشبه ا
لرقبة من عضو مثل الرحم والمرارة. الشكل 2
8.3
بروتين القناة بروتين عابر للغشاء يحتوي على مسا
م تسمح بمرور المواد بين السيتوبلازم وا
لسائل خارج الخلية. الشكل 3.7

الشُعَبُ الرِّئَوِيَّة)برونكوس(ممر هوائي رئوي
كبير نسبيًا يحتوي على غضروف داعم في
الجدار؛ أي ممر يبدأ من الشعبة الرئيسية عند
تفرع القصبة الهوائية وينتهي بالشعب القط
اعية، التي يستمر منها الهواء إلى الشُعَيبَات.

الحافة الفرشية هامش من الأهداب الدقيقة على ا
لسطح القمي للخلية الطلائية، يعمل على زيادة م
ساحة السطح وتعزيز الامتصاص. الشكل 5.6
الكيس الزلالي كيس مملوء بسائل زلالي في م
فصل زلالي، يعمل على تسهيل حركة العضلات أو ا
لمفصل. الشكل 9.6

ح

التكلس تصلب النسيج نتيجة ترسيب أملاح الكالس
يوم.
السعرة الحرارية كمية الطاقة الحرارية التي ترفع درجة حرارة 1
غرام من الماء بمقدار 1 درجة مئوية. وتسمى أيضًا *ا
لسعرة الحرارية الصغيرة* لتمييزها عن السعرات الحر
ارية الغذائية)بحرف كبير *C* (، أو الكيلو كالوري.
السعرة الحرارية *انظر الكيلو كالوري.*
القناة الدقيقة)كان-يو-ليك-يولس(قناة
مجهرية، كما في النسيج العظمي. الشكل 7.4ال
شعيرة الدموية)كاب-ي-ليري(أضيق نوع من الأوعية
في الجهاز القلبي الوعائي والجهاز اللمفاوي؛ ت
شارك في تبادل السوائل مع الأنسجة المح
يطة.
تبادل الشعيرات الدموية عملية نقل السوائل بين م
جرى الدم وسائل الأنسجة عبر جدران الشع
يرات الدموية.
الكبسولة الغلاف الليفي لهيكل مثل
الطحال أو المفصل الزليلي.
الكربوهيدرات مركب عضوي محب للماء يتكون م
ن الكربون ونسبة 2:1 من الهيدروجين إ
لى الأكسجين؛ يشمل السكريات، والنشويات، وا
لجليكوجين، والسليلوز.
إنزيم الكربونيك أنهيدراز إنزيم يوجد في كريات
الدم الحمراء وخلايا أنابيب الكلى، يحفز تح
لل حمض الكربونيك إلى ثاني أكسيد الكربون وا
لماء أو العكس)H_2CO_3
$\rightleftharpoons CO_2 + H_2O$).
مسرطن)car-SIN-oh-jen(عامل قادر على التسب
ب في السرطان، بما في ذلك بعض المواد الكيميا
ئية، والفيروسات، والإشعاع المؤين.
النتاج القلبي)CO(كمية الدم التي يضخها كل
بطين من القلب في دقيقة واحدة.

خلية عضلية قلبية خلية عضلية قلبية.
الجهاز القلبي الوعائي نظام عضوي يتكون م
ن القلب والأوعية الدموية، يخدم في نقل ا
لدم. قارن مع الجهاز الدوري.

رسغي متعلق بالرسغ)الكاربوس(.
حامل **1.** بروتين في غشاء خلوي يقوم بالنقل الو
سيط بواسطة الحامل. **2.** شخص يحمل ألي
ل متنحي بشكل غير متماثل ولا يظهر عليه ا
لنمط الظاهري المرتبط، لكنه قد ينقل هذا ا
لأليل إلى أبنائه؛ على سبيل المثال، حامل لمر
ض فقر الدم المنجلي.

اليوراسيل(الذي يخدم جزئياً في ترميز بنية
البروتين. **3.** أوسع جزء من عضو مدبب مثل ا
لرحم أو القلب أو الجانب السفلي من ع
ضو مثل الدماغ.
الغشاء القاعدي طبقة رقيقة من الجلي
كوبروتينات، والكولاجين، وال
جليكوزأمينوجليكانات تحت أعمق خلايا الظهارة،
تعمل على ربط
الظهارة بالنسيج الأساسي تحتها. الشكل 5.33
القاعدي)باي-سو-فيل(نوع من الكريات الحبيبية
يحتوي على حبيبات سيتوبلازمية خشنة ينتج اله
يبارين، والهيستامين، ومواد كيميائية أخرى
تشارك في الالتهاب. الجدول 18.6
البطن الجزء السميك من العضلة الهيكلية بين منشأه
ا وموضع إدخالها. الشكل 10.4
نظام عازلة البيكربونات مزيج متوازن من حم
ض الكربونيك، وأيونات البيكربونات، وأيونات
الهيدروجين)$H_2CO_3 \rightleftharpoons HCO_3^- + H^+$)
الذي يثبت درجة حموضة سوائل الجسم.
أيون البيكربونات أيون سالب، HCO_3^- يعمل كقاعد
ة في عزل سوائل الجسم.
الأمينات الحيوية فئة من الرسل الكيميائيين
ذات وظائف ناقلة عصبية وهرمونية،
تُصنع من الأحماض الأمينية وتحافظ على
مجموعة أمينية؛ وتُسمى أيضًا *أحاد الأمين.*
تشمل الأمثلة الإيبنفرين والثيروكسين.
المشي على قدمين عادة المشي على قدمين؛ وهي
سمة مميزة لعائلة
الهومينيداي التي تكمن وراء العديد من الخصائص ا
لهيكلية وغيرها من خصائص البشر.
الحاجز الدموي الدماغي)BBB(حاجز بين مجرى الد
م والنسيج العصبي للجهاز العصبي المركزي
لا يسمح بمرور العديد من المذابّات الدمو
ية وبالتالي يمنعها من التأثير على نسيج الدماغ؛
يتكون من الوصلات الضيقة بين خلايا بطانة ال
شعيرات الدموية، والغشاء القاعدي للبطا
نة، وأقدام الخلايا النجمية المحيطة بالأوعية.

خلية ب اللمفاوية خلية لمفاوية تعمل كخلية مقدمة
للمستضد، وفي المناعة الخلطية تتمايز إ
لى خلية بلازمية منتجة للأجسام المضادة؛ و
تسمى أيضًا خلية ب.
الجسم **1.** الكائن الحي بأكمله. **2.** جزء من الخلية، م
ثل العصبون، يحتوي على النواة ومعظم العضيا
ت الأخرى. **3.** أكبر أو الجزء الرئيسي من ع
ضو مثل المعدة أو الرحم؛ ويسمى أيضًا الجسد)
corpus).
العضدي)براي-كي-أل(متعلق بالذراع بشكل خاص
، المنطقة من الكتف إلى المرفق.
براديكينين)براد-إي-كاينين(أوليغوببتيد يُنتج في الال
تهاب يحفز توسع الأوعية، ويزيد نفاذية الش
عيرات الدموية، وينبه مستقبلات الألم.

جذع الدماغ الجزء السفلي الشبيه بالساق من الد
ماغ، يتكون من النخاع المستطيل، والجسر، و
الدماغ المتوسط. الشكل 14.8
الشُعَيبَةُ التَّنَفُّسِيَّة)برونكيول(ممر هوائي رئوي
يكون عادةً قطره 1 مم أو أقل، ويفتقر إلى
الغضروف لكنه يحتوي على كمية نسبية كبيرة م
ن العضلات الملساء والأنسجة المرنة، وبطانة م
كعبة بسيطة، عادةً مهدبة.

ضغط الاسموزى الغروانى *(COP)* جزء من الضغط الاسموزى لسائل الجسم ناتج عن البروتينات فيه. *قارن الضغط الأسموزى الغروانى.*
عمود *انظر* .funiculus
عمودى شكل خلوى يكون فيه الطول أكبر بكثير من العرض. الشكل 5.6
وصلة (COM-ih-shur)**1.** حزمة من ألياف الأعصاب تعبر من جانب إلى آخر من الدماغ أو الحبل الشوكى. الشكل 14.2 **2.** زاوية أو ركن تلتقى عنده الجفون أو الشفاه، أو الشفاه التناسلية؛ فى العين، يُسمى أيضًا *لزاوية*. الشكل 16.23
مُكمل **1.** لإكمال أو تعزيز هيكل أو وظيفة شىء آخر، كما فى العمل المنسق لهرمونين. **2.** نظام من بروتينات البلازما المشاركة فى الدفاع ضد مسببات الأمراض.
التصوير المقطعى المحوسب)CT(طريقة للتصوير الطبى تستخدم الأشعة السينية والكمبيوتر لإنشاء صورة لقطاع رقيق من الجسم؛ يُسمى أيضًا *فحص CT*.
تدرج التركيز فرق فى التركيز الكيميائى من نقطة إلى أخرى، كما هو الحال على جانبى غشاء البلازما.
التخصيب تخصيب البويضة، مما ينتج زيجوت.
المُنتج من الحمل جميع منتجات الحمل، بدءًا من البويضة المخصبة إلى الجنين المكتمل النمو مع الأغشية الجنينية، المشيمة، والحبل السرى. *قارن* الجنين، الجنين النامى، ما قبل الجنين.
النتوء)كون-دايل(نتوء دائرى على العظم يعمل على تسهيل حركة المفصل. الشكل 8.2
التشكيل البنية ثلاثية الأبعاد لبروتين تنتج عن التفاعل بين مجموعات الأحماض الأمينية الجانبية، وتفاعلاته مع الماء، وتكوين روابط ثنائية الكبريت.
خلقى موجود عند الولادة؛ على سبيل المثال، عيب تشريحى، عدوى الزهرى، أو مرض وراثى.
مقترن حالة يرتبط فيها مركب عضوى بمركب آخر من فئة مختلفة، مثل بروتين مقترن بكربوهيدرات لتكوين غليكوبروتين.

النسيج الضام نسيج يتكون عادة من حجم خارج خلوى أكبر من الحجم الخلوى وعادة يحتوى على كمية كبيرة من الألياف خارج الخلوية؛ يشكل أُطرًا داعمة وكبسولات للأعضاء، ويربط الهياكل معًا، ويثبتها فى مكانها، ويخزن الطاقة)كما فى النسيج الدهنى(، أو ينقل المواد)كما فى الدم(.
الانقباضية **1.** القدرة على الانقباض. **2.** كمية القوة التى يولدها ليف عضلى منقبض استجابة لمحفز معين؛ قد تزداد بواسطة الإبينفرين، على سبيل المثال، بينما تظل قوة المحفز ثابتة. **3.** كمية القوة التى يولدها حجرة القلب المنقبضة استجابة للتحميل المسبق المعطى.

الهدب (SILL-ee-um) عملية شبيهة بالشعر، تحتوى على محور)axoneme(، تبرز من السطح القمى لخلية طلائية؛ غالبًا ما تكون متحركة وتعمل على دفع المادة عبر سطح الطهارة، ولكن أحيانًا تكون غير متحركة وتؤدى أدوارًا حسية. الشكل 3.10
الصدمة الدورية حالة يكون فيها النتاج القلبى غير كافٍ لتلبية الاحتياجات الأيضية لجسم الإنسان.
الجهاز الدورى نظام عضوى يتكون من القلب، الأوعية الدموية، والدم. *قارن الجهاز القلبى الوعائى.*
الحركة الدائرية حركة مفصلية يبقى فيها أحد طرفى الطرف النسبى ثابتًا نسبيًا بينما يتحرك الطرف الآخر فى دائرة. الشكل 9.16
تليف الكبد (sih-RO-sis) مرض كبدى تنكسى يتميز باستبدال النسيج البرنشيمى الوظيفى بنسيج ليفى ودهن؛ الأسباب تشمل الكحول، سموم أخرى، والالتهابات الفيروسية والبكتيرية الالتهاب.
الخزانة (SIS-turn) فراغ أو كيس مملوء بالسائل، مثل الخزانة الصدرية)cisterna chyli(فى الجهاز اللمفاوى وخزانات الشبكة الإندوبلازمية ومجمع جولجى. الشكل 3.28
مرحلة انقطاع الطمث فترة فى حياة الرجال والنساء، عادة فى أوائل الخمسينيات، تتميز بتغيرات فى مستوى الوظائف التناسلية الهرمونات؛ مجموعة متنوعة من التأثيرات الجسدية والنفسية؛ وفى النساء، توقف الإباضة والدورة الشهرية)انقطاع الطمث(.
نسل مجموعة من الخلايا التى تنحدر انقساميًا من نفس الخلية الأم وتكون متطابقة وراثيًا أو فى جوانب أخرى، مثل نسل خلايا B أو T.
تخثر (co-AG-you-LAY-shun) تجلط الدم أو اللمف أو سائل الأنسجة أو السائل المنوى.
مساعد إنزيمى (co-EN-zime) جزىء عضوى صغير، عادةً مشتق من فيتامين، ضرورى لجعل الإنزيم نشطًا تحفيزيًا؛ يعمل عن طريق قبول الإلكترونات من تفاعل إنزيمى ونقلها إلى سلسلة تفاعلات مختلفة.

عامل مساعد مادة غير بروتينية مثل أيون معدنى أو مساعد إنزيمى ضرورى لعمل الإنزيم.
تماسك التصاق جزيئات متطابقة مثل جزيئات الماء ببعضها البعض.
كولاجين (COLL-uh-jen) أكثر البروتينات وفرة فى الجسم، يشكل ألياف العديد من الأنسجة الضامة فى أماكن مثل الأدمة، والأوتار، والعظام.
معلق خليط مائى من جزيئات كبيرة جدًا بحيث لا تمر عبر معظم الأغشية الانتقائية النفاذية ولكنها صغيرة بما يكفى لتظل موزعة بالتساوى فى المذيب بفعل الحركة الحرارية لجزيئات المذيب؛ على سبيل المثال، البروتينات فى بلازما الدم.

رابطة كيميائية قوة تجذب ذرة إلى أخرى، مثل الشحنات المتعاكسة أو مشاركة الإلكترونات.
تشابك كيميائى نقطة التقاء ليف عصبى مع خلية أخرى يتواصل معها العصبون عن طريق إفراز الناقلات العصبية. الشكل 12.21
المستقبل الكيميائى عضو أو خلية متخصصة فى كشف المواد الكيميائية، كما فى أجسام الشريان السباتى وبراعم التذوق.
الخلايا الرئيسية النوع الغالب من الخلايا فى عضو أو نسيج مثل الغدد الجار درقية أو الغدد المعدية.
الهُرمون الكوليسيستوكينين)CCK( )كو-ليه-سيس-تو-كين(بولى ببتيد يُستخدم كهرمون وناقل عصبى، يُفرز بواسطة بعض خلايا الدماغ وخلايا الجهاز الهضمى. الشكل 12.22
الكوليسترول)كو-ليس-تور-ول(ستيرويد يعمل كجزء من غشاء البلازما وكسابق لجميع الستيرويدات الأخرى فى الجسم.
الكولينيرجى)كو-لين-أور-جيك(متعلق بالأسيتيل كولين)ACh(، كما فى ألياف الأعصاب الكولينيرجية التى تفرز ACh، المستقبلات الكولينيرجية التى ترتبط به، أو التأثيرات الكولينيرجية على عضو الهدف.
خلية غضروفية)كون-درو-سايت(خلية غضروف؛ خلية غضروفية سابقة أصبحت محاطة فى فجوة فى مصفوفة الغضروف. الأشكال 5.19 إلى 5.21
الغشاء الجنينى)الكوريون( )كو-رى-أون(غشاء جنينى خارجى للأمنيون؛ يشكل جزءًا من المشيمة وله وظائف متنوعة تشمل تغذية الجنين، إزالة الفضلات، وإفراز الهرمونات. الشكل 29.7 ف
الكروماتين)كرو-ما-تين(مادة خيطية فى نواة الطور البينى، تتكون من DNA وبروتينات مرتبطة.
الكروموسوم مركب من DNA وبروتين يحمل المادة الوراثية لنواة الخلية. عادةً ما يكون هناك 46 كروموسومًا فى نواة كل خلية ما عدا الخلايا الجرثومية. الشكل 4.5
مزمن **1.** يتعلق بمرض يتقدم ببطء وله مدة طويلة. **2.** طويل الأمد. *قارن* حاد.
التهاب الشعب الهوائية المزمن مرض رئوى انسدادى مزمن يتميز بتلف وتثبيط الأهداب التنفسية، إفراز مفرط للمخاط، عدوى فى الجهاز التنفسى السفلى، والتهاب فى الشعب الهوائية؛ يسببه بشكل خاص تدخين السجائر. *انظر أيضًا* مرض الانسداد الرئوى المزمن.
مرض الانسداد الرئوى المزمن)COPD(بعض أمراض الرئة)التهاب الشعب الهوائية المزمن وانتفاخ الرئة(التى تؤدى إلى انسداد طويل الأمد فى تدفق الهواء وتقليل كبير فى التهوية الرئوية؛واحد من الأسباب الرئيسية للوفاة فى سن الشيخوخة.

عميق بعيد نسبيًا عن سطح الجسم؛ عكس *سطحى*. على سبيل المثال، معظم العظام تـ كون عميقة بالنسبة للعضلات الهيكلية.
إزالة الحبيبات إفراز الحبيبات واختفاؤها من السيتو بلازم، خاصة فى الصفائح الدموية والعدلات.

التحلل البروتينى تغير فى التكوين الثلاثى الأبعاد لبروتين يؤدى إلى تدمير خصائصه الإنزيمية أو الوظيفية الأخرى، عادةً ما يكون ناتجًا عن درجات حرارة أو قيم pH متطرفة.

التغصن عملية طويلة ونحيفة وغالبًا متفرعة تمتد من جسم الخلية فى العصبون، أو الخلية العظمية، أو الخلية التغصنية. فى العصبونات، تعمل على استقبال الإشارات من خلايا أخرى، ولا تستطيع توليد جهود الفعل. الأشكال 7.3أ، 12.4
الخلية التغصنية خلية مقدمة للمستضدات فى البشرة والأغشية المخاطية. الشكل 6.3
ضمور ناتج عن فقدان التعصيب انكماش فى العضلات الهيكلية يحدث عندما يموت العصبون الحركى أو ينفصل عن العضلة.
النسيج الضام الكثيف نسيج ضام يحتوى على كثافة عالية من الألياف، وكمية قليلة نسبيًا من المادة ا لأساسية، وخلايا قليلة؛ يُرى فى الأوتار والأدمة ، على سبيل المثال.
إزالة الاستقطاب تغير فى الجهد الكهربائى عبر غشاء البلازما إلى قيمة أقل سلبية من جهد الغشاء فى حالة الراحة؛ مرتبط بتنبيه خلية عصبية أو عضلية. *قارن مع* فرط الاستقطاب.
حلمة الأدمة نتوء أو حافة من الأدمة تمتد للأعلى لتتشابك مع البشرة وتخلق حدًا متموجًا يقاوم الإجهاد وانزلاق البشرة.
الأدمة الطبقة الأعمق من طبقتى الجلد، تحت البشرة ومكونة من نسيج ضام ليفى.
الوصلة الخلوية)ديسموسوم((DEZ-mo-some) وصلة بين خلوية على شكل رقعة ترتبط ميكانيكيًا بى ن خليتين. الشكل 5.28
داء السكرى)دى-أيه-بى-إى-تيز(أى مرض يتميز بالتبول المتكرر المزمن ذو الأصل الأيضى؛ داء السكرى السكرى ما لم يُذكر خلاف ذلك.

داء السكرى الكاذب)in-SIP-ih-dus(هو شكل من أشكال داء السكرى ينتج عن نقص إفراز ه رمون مضاد لإدرار البول؛ وعلى عكس الأشكال الأ خرى، لا يتميز بفرط سكر الدم أو وجود ال سكر فى البول.
داء السكرى)mel-EYE-tus(هو شكل من داء السكرى ينتج عن نقص إفراز الأنسولين أو عن استجابة ناقصة من خلايا الهدف له؛ تشمل العلامات فرط سكر الدم و وجود السكر فى البول.
الجسم)dy-AF-ih-sis(هو جذع العظم الطو يل. الشكل 7.1
المفصل الزليلى (DY-ar-THRO-sis) *انظر* المفصل الزليلى.

الساقى)CROO-rul(متعلق بالساق نفسها أو بالجزء السفلى)الساق(من عضو.
الساق)تنطق كروس؛ الجمع، *crura*(. **1.** امتدا د يشبه الساق لعضو مثل القضيب أو البطر. الأ شكال 27.10ب، 28.8 **2.** الساق نفسها)المنط قة الساقية، من الركبة إلى الكاحل(للطرف ا لسفلى.
مكعبية)cue-BOY-dul(شكل خلوى يشبه ا لمكعب تقريبًا أو حيث يكون الارتفاع والعرض م تساويين تقريبًا؛ عادة ما تبدو مربعة فى مقاطع الأ نسجة. الشكل 5.5
تيار تيار متحرك من الجسيمات المشحونة مثل الأيونات أو الإلكترونات.
الحدبة 1. واحدة من سُرَف صمام القلب، الأوردة، وا لأوعية اللمفاوية. **2.** بروز مخروطى على الس طح المضغى لطاحونة أو ضرس.

جلدى)cue-TAY-nee-us(يتعلق بالجلد.
الزرقة)SY-uh-NO-sis(لون أزرق للجلد والأغ شية المخاطية بسبب نقص التروية الدموية أو نق ص الأكسجة فى الدم.
أدينوسين أحادى الفوسفات الدورى)cAMP(A جزىء دورى يُنتج من ATP عن طريق الإزالة الإنزيمية لمجموعتين فوسفاتيتين؛ يعمل كر سول ثانٍ فى العديد من عمليات الهرمونات والنا قلات العصبية. الشكل 2.29ب
تحلل الخلايا)ساى-تول-إيه-سيس(تمزق و تدمير الخلية بواسطة عوامل مثل بروتي نات المتمم والمحاليل منخفضة التوتر.
السيتوبلازم محتويات الخلية بين غشاء البلازما و غطاء النواة، وتتكون من السيتوسول، العضيا ت، المحتويات الداخلية، والهيكل الخلوى.

الهيكل الخلوى نظام من الخيوط الدقيقة البروتينية، الخيوط المتوسطة، والأنابيب الدقيقة داخل الخلية، يعمل فى الدعم المادى، حركة الخلية، وتوجيه الجزيئات والعضيات إلى وجهاتها داخل الخلية. الشكل 3.24
السيتوسولهو مادة هلامية شفافة وخالية من الملام ح، تُغمر فيها العضيات والهياكل الداخلية الأخرى للخلية.
خلية تى السامةخلية لمفاوية تى تهاجم وتدمر م باشرةً خلايا الجسم المصابة، والخلايا السر طانية، وخلايا الأنسجة المزروعة.

د

الخلايا الابنة خلايا تنشأ من خلية أصلية عن طريق الانقسام الميتوزى أو الانقسام الاختزالى.
إزالة الأمين)دى-آم-إيه-نَىْ-شِن(إزالة مجموعة أمينية من جزىء عضوى؛ خطوة فى تحلل الأحماض الأمينية.
تفاعل التحلل تفاعل كيميائى يتم فيه تحليل جزىء أكبر إلى جزيئات أصغر. *قارن* تفاعل التخليق.
التقاطع العصبى)دى-كس-ى-شِن(عبور الألياف العصبية من الجانب الأيمن من الجهاز العصبى المركزى إلى الجانب الأيسر أو العكس، خاصة فى الحبل الشوكى، النخاع المستطيل، وتقاطع العصب البصرى.

مقابل الجانب على جانبى الجسم المتقابلين، كما فى الدوائر الانعكاسية التى يأتى فيها المنبه من جانب واحد من الجسم ويحدث استجابة من العضلات فى الجانب الآخر. *قارن* نفس الجانب.
التأثير التعاونى تأثير يعمل فيه هرمونان، أو كلا قسمَى الجهاز العصبى الذاتى، معًا لإنتاج نتيجة واحدة شاملة.

التاج هيكل يشبه الهالة أو التاج، كما فى التاج الش عاعى للدماغ والمبايض، الدورة التاجية لل قلب، وخياطة التاج فى الجمجمة.

التاج الشعاعى 1. مجموعة من مسارات الأعصاب فى الدماغ تنشأ بشكل رئيسى من المهاد وتتفر ع إلى مناطق مختلفة من قشرة الدماغ. **2.** ا لطبقة الأولى من الخلايا المكعبة الخارجية م باشرةً عن المنطقة الشفافة حول خلية البوى ضة.
المستوى الإكليلى *انظر* المستوى الجبهى.
الدورة التاجية نظام من الأوعية الدموية تخدم جدار القلب. الشكل 19.10
الجسم 1. الجسم أو الكتلة، مثل الجسم الجسم الثفنى والجسم الأصفر. **2.**الجزء الرئيسى من عضو مثل المعدة أو الرحم، على عكس مناطق مثل الرأس أو الذيل أو عنق الرحم.
صبغة التآكل *انظر* صبغة التآكل الوعائية.
القشرة الطبقة الخارجية لبعض الأعضاء مثل الغد د الكظرية، الكلى، المخ، العقد اللمفاوية، المباى ض، والشعر؛ عادةً ما تغطى أو تحيط بالنسيج المسمى *النخاع*.
الكورتيكوستيرويد)كور-تى-كو-ستير-ويد(أى هرمو ن ستيرويدى يُفرز من قشرة الغدة الكظرية، مثل الألدوستيرون، الكورتيزول، والستيرويدات ا لجنسية.
ضلعية)كوس-تول(تتعلق بالأضلاع.
النقل المشترك شكل من أشكال النقل الو سيط بواسطة الحامل حيث يقوم بروتين الغشاء بنقل مادتين مذابتين فى نفس الو قت أو ضمن نفس دورة العمل إما عن طر يق الانتشار الميسر أو النقل النشط؛ على س بيل المثال، ناقل الصوديوم-الجلوكوز ومضخة $Na^+–K^+$.
التدفق المعاكس حالة يتدفق فيها سائلان جنبًا إل ى جنب فى اتجاهين متعاكسين، كما فى مضاع ف التدفق المعاكس للكلى \ومبادل الحرارة بالتدفق المعاكس فى كيس الصفن.

جمجمى (CRAY-nee-ul) **1.** متعلق بجُمجمة ا لرأس. **2.** فى موضع قريب نسبيًا من الرأس أو ا تجاه نحو الرأس. *قارن* ذيلى.

العصب القحفى أى من 12 زوجًا من الأعصاب متصلة بأساس الدماغ وتمر من خلال الثقوب فى الجمجمة.
الحديبة)الجمع، *الحدبات*(نتوء تشريحى، مثل الحديبة الدجاجية لعظم الغربالى أو الحديبة فى الميتوكوندريا.
المقطع العرضى قطع عمودى على المحور الطولى لجسم أو عضو.

الانتفاخ الرئوى)EM-fih-SEE-muh(مرض رئوى تنكسى يتميز بتفكك الحويصلات الهوائية وتناق ص مساحة السطح المتاحة لتبادل الغازات؛ يحد ث مع تقدم عمر الرئتين لكنه يتسارع بشكل كبير بسبب التدخين أو تلوث الهواء.

الغدة الصماء)EN-doe-crin(غدة لا تحتوى على قنوات تفرز الهرمونات فى مجرى الدم؛ على سبيل المثال، الغدة الدرقية والغدد الكظرية. *قارن* الغدة الخارجية الإفراز.

الابتلاع الخلوى)EN-doe-sy-TOE-sis(أى عملية تشكل فيها الخلية حويصلات من غشاء البلازم ا الخاص بها وتأخذ جزيئات كبيرة أو جزى ئات أو قطرات من السائل خارج الخلوى؛ على سبيل المثال، البلعمة والابتلاع الصغير.

الطبقة الداخلية للجنين الطبقة الأعمق من الطبقا ت الثلاث الأولية للجنين؛ تعطى نشأة للغشاء المخاطى فى الجهاز الهضمى والجهاز التنفسى و للغدد المرتبطة بهما.

داخلى)en-DODJ-eh-nus(منشأه داخلى، مثل الكوليسترول الداخلى المُصنّع فى الجسم ع لى عكس الكوليسترول الخارجى القادم من النظام الغذائى.

قارن خارجى.

بطانة الرحم)EN-doe-MEE-tree-um(الغ شاء المخاطى للرحم؛ موقع الانغراس ومصدر الإ فرازات الحيضية.

الشبكة الإندوبلازمية)EN-doe-PLAZ-mic r)ER(eh-TIC-you-lum(نظام واسع من الأناب يب أو القنوات السيتوبلازمية المترابطة؛ تصنف إلى شبكة إندوبلازمية خشنة أ و ناعمة حسب وجود أو غياب الريبوسومات على غشائها.

الشكل 3.28

البطانة الداخلية)EN-doe-THEEL-ee-um(طلائ ية حرشفية بسيطة تبطن تجاويف الأوعية الدمو ية والقلب والأوعية اللمفاوية.

معوى)en-TERR-ic(متعلق بالأمعاء الدق يقة، كما فى الهرمونات المعوية والضفيرة المع وية.

اليوزينوفيل)EE-oh-SIN-oh-fill(كريات دم ب يضاء حبيبية ذات نواة كبيرة غالبًا ما تكون ذات ف صين وحبيبات سيتوبلازمية خشنة تصبغ باليوز ين؛ تبتلع مركبات المستضد-الأجسام المضادة ، والمواد المسببة للحساسية، والمواد الكيميائ ية الالتهابية وتفرز إنزيمات تحارب العدوى الطفيلية. جدول 18.6

البشرة طلائية حرشفية متعددة الطبقات تشكل الط بقة السطحية للجلد، فوق الأدمة. الشكل 6.3

الأدرينالين)EP-ih-NEFF-rin(كاتيكولامين ى عمل كناقل عصبى فى الجهاز العصبى الود ى وهرمون يُفرز من لب الغدة الكظرية؛ يُسمى أ يضًا

الأدرينالين. الشكل 12.22

لوح المشاشة)EP-ih-FIZ-ee-ul(هو لوح من ا لغضروف الزجاجى بين المشاشة والجسم الط ويل للعظم فى الطفل أو المراهق، يعم ل كمنطقة نمو لتمديد العظم. الأشكال 7.9، 7.1 1

من المعدة وإفرازات من الكبد والبنكرياس. الشكل 25.25

داينين)DINE-een(بروتين محرك يشارك فى حركة الأهداب والأسواط وفى حركة الجزيئات والعضيات داخل الخلايا، كما فى النقل العكسى فى ليف عصبى.

هـ

إكرين)ECK-rin(يتعلق بخلايا الغدد التى تفرز منتجها عن طريق الإفراز الخلوى؛ وتسمى أيضًا *ميروكراين*.

الإكتوديرم الطبقة الخارجية من الطبقات الثلاث ا لأولية للجنين؛ تعطى الأصل للبشرة والجهاز ا لعصبى.

خارجى الموضع)ec-TOP-ic(فى موقع غير طبيعى؛ مثل الحمل الخارجى وأجهزة تنظيم ضربات القلب الخارجية الموضع.

وذمة)eh-DEE-muh(تراكم غير طبيعى لسوائل الأنسجة مما يؤدى إلى تورم

الأنسجة.

المؤثر جزىء أو خلية أو عضو يقوم بأداء استجابة لمثير.

صادر)EFF-ur-ent(يحمل بعيدًا أو خارجًا، كما فى وعاء دموى يحمل الدم بعيدًا عن النسيج أو ليف عصبى ينقل الإشارات بعيدًا عن الجهاز العصبى المركزى.

ليف مرن هو ليف نسيجى ضام، يتكون من بروتين ا لإيلاستين، يتمدد تحت الشد ويعود إلى طو له الأصلى عند الإفراج عنه؛ وهو المسؤول عن مر ونة الأعضاء مثل الجلد والرئتين.

المرونة ميل الهيكل الممدود إلى العودة إلى أبعاده ا لأصلية عند تحرير الشد.

المشبك الكهربائى هو وصلة فجوة تتيح لخلية واح دة تحفيز أخرى مباشرة، دون الحاجة إلى وسيط ناقل عصبى؛ وتربط هذه المشابك خلايا عضلة ا لقلب وعضلة ملساء ذات وحدة واحدة.

الإلكتروليت هو ملح يتأين فى الماء وينتج مح لولا يوصل الكهرباء؛ وبشكل عام، أى أيون ناتج عن تفكك هذه الأملاح، مثل أيونات الصوديوم، وا لبوتاسيوم، والكالسيوم، والكلوريد، والبيكربو نات.

الرفع حركة مفصلية ترفع جزءًا من الجسم، كما فى تقويس الكتفين أو إغلاق الفم.

الانسداد الوعائى)EM-bo-lizm(انسداد وعاء دمو ى بواسطة جسم مسافر)الصمة(.

الصمة)EM-bo-lus(أى جسم غير طبيعى م تحرك فى مجرى الدم، مثل البكتيريا أو خلايا الدم المتكتلة، جلطة دموية، أو فقاعة هوائية.

الجنين فرد متطور من اليوم السادس عشر م ن الحمل عندما تتكون الطبقات الجرثومية ا لثلاثة الأولية، وحتى نهاية الأسبوع الثامن عندما تـ كون جميع أنظمة الأعضاء موجودة. *قارن* conce ptus، الجنين)fetus(، ما قبل الجنى ن)preembryo(.

الانبساط)dy-ASS-toe-lee(فترة يرتاح ف يها حجرة القلب وتمتلئ بالدم؛ وخاصة استرخ اء البطين.

ضغط الانبساط)دى-أيه-ستا-ليك(هو أدنى ضغط دم شريانى يُقاس خلال الفترة بين نبضات القلب.

المخ بين الدماغى)دى-إن-سيف-ألون(جزء من الدماغ بين الدماغ المتوسط والجسم الثفنى؛ يتكون من المهاد، المهاد فوق المهاد، والمهاد تحت المهاد. الشكل 14.12

التمايز تطور خلية أو نسيج غير متخصص نس بيًا إلى خلية أو نسيج ذو بنية ووظيفة أكثر تح ديدًا.

الانتشار الحركة الصافية التلقائية للجسيمات من مكان ذو تركيز عالٍ إلى مكان ذو تركيز منخفض)باتجاه تناقص التدرج التركيزى(.

ثنائى الصبغيات)$2n$(فى البشر، يمتلك 46 كرومو سومًا فى 23 زوجًا متماثلًا، حيث يأتى عضو واح د من كل زوج كروموسومات من كل والد.

ثنائى السكاريد)داى-ساك-أرايد(هو كربوهيدرات مكون من سكرين بسيطين)أحاديات السكاريد(مرتبطة برابطة جليكوسيد ية؛ على سبيل المثال، اللاكتوز، السكروز، والم التوز. الشكل 2.16

تخثر الدم المنتشر داخل الأوعية (DIC) تجلط واسع النطاق للدم داخل الأوعية غير المكسورة، مما يؤدى إلى النزيف، احتقان الأوعية بالدم المتخثر، و نقص التروية ونخر الأعضاء.

بعيد نسبيًا عن نقطة الأصل أو الارتباط؛ على سبيل ا لمثال، المعصم بعيد عن الكوع. قارن قريب.

رابطة ثنائية الكبريتيد هى رابطة تساهمية تربط بين بقايا السيستين من خلال ذرات الكبريت ا لخاصة بها، تعمل على ربط سلسلة ببتيد واحدة بأخرى أو للحفاظ على تكوين السلسلة الثلاثى الأ بعاد.

مدر للبول)DY-you-RET-ic(مادة كيميائية تزيد من إنتاج البول.

سائد 1. يتعلق بأليل جينى يُعبّر عنه ظاهريًا فى وجود أى أليل آخر. **2.** يتعلق بصفة تنتج م ن أليل سائد.

دوبامين)DOE-puh-meen(ناقل عصب ى كاتيكولامينى مثبط فى الجهاز العصبى المركز ى، خاصة فى النوى القاعدية، حيث يعمل على كبح النشاط الحركى غير المرغوب فيه. الش كل 12.22

ظهرى نحو الجانب الخلفى)العمودى(للجسم؛ فى البشر، عادة ما يكون مرادفًا لـ *خلفى*.

الجذر الظهرى *انظر* الجذر الخلفى.

ثنى ظهرى)DOR-sih-FLEC-shun(حركة لمف صل الكاحل تقلل زاوية المفصل وترفع أصابع ا لقدم. الشكل 9.22

الاثنا عشر (DEW-oh-DEE-num, dew-ODD-eh-num(الجزء الأول من الأمعاء الدقيقة يمتد لحوالى 25 سم من صمام البواب فى المعدة إلى انحناءة حادة تسمى ثنية الاثنا عشر والصائم؛ يستقبل الكيموس

الترشيح عملية يتم فيها دفع سائل عبر غشاء نفاذ انتقائي بواسطة الضغط الهيدروستاتيكى)خاصة جدار الشعيرات الدموية(.

الإثارة لإنتاج جهد فعل، كما فى خلايا الأعصاب والعضلات.

التثبيت 1. تثبيت هيكل فى مكانه؛ على سبيل المثال، بواسطة عضلات التثبيت التى تمنع الحركات غير المرغوب فيها للمفصل. 2. حفظ نسيج باستخدام مادة مثبتة مثل الفورمالين.

الثنى حركة مفصلية تقلل فى معظم الحالات الزاوية بين عظمتين. الشكل 9.12 *قارن* الامتداد.

توازن السوائل حالة يكون فيها متوسط مكاسب الماء اليومية)عن طريق المدخول والتخليق(مساويًا لفقدان الماء، ويتم توزيع الماء بشكل صحيح بين مقصورات السوائل فى الجسم. *ويسمى أيضًا* توازن الماء.

مقصورة السوائل أى من الفئات الرئيسية للسوائل فى الجسم، مفصولة بأغشية نفاذة انتقائية وتختلف عن بعضها البعض فى التركيب الكيميائى. الأمثلة الرئيسية هى السائل داخل الخلايا، سائل الأنسجة، الدم، واللمف.

الجريب (FOLL-ih-cul) 1. مساحة صغيرة، مثل حريب الشعر، جريب الغدة الدرقية، أو جريب المبيض. 2. تجمع من الخلايا اللمفاوية فى عضو لمفاوى أو غشاء مخاطى.

هرمون تحفيز الجريب)FSH(هرمون يفرزه الغدة النخامية الأمامية يحفز تطور جريبات المبيض وخلايا البويضة لدى الإناث وإنتاج الحيوانات المنوية لدى الذكور.

الثقبة)فو-ري-من( )الجمع، *الثقبات*(فتحة فى عظم أو عضو آخر، فى كثير من الحالات توفر ممرًا للأوعية الدموية و الأعصاب.

العنصر المتكون كريات الدم الحمراء، كريات الدم البيضاء، أو الصفائح الدموية؛ أى مكون خلوى فى الدم أو اللمف على عكس مكون السائل خارج الخلايا.

الحُفرة)فوس-أه(انخفاض فى عضو أو نسيج، مثل الحفرة البيضاوية للقلب، الحفرة القحفية للجمجمة، أو الحفرة الزندية للمرفق.

الحُفرة الصغيرة)فو-فى-أه(حفرة صغيرة، مثل الحفرة الرأسية لعظم الفخذ أو الحفرة المركزية لشبكية العين.

الطاقة الحرة الطاقة الكامنة فى مادة كيميائية المتاحة لأداء العمل.

الجذر الحر جسيم مشتق من ذرة أو جزيء، يحتوى على إلكترون غير مزدوج يجعله عالى التفاعل ومدمر للخلايا؛ يُنتج بواسطة عمليات داخلية مثل التنفس الهوائى وبواسطة عوامل خارجية مثل المواد الكيميائية والإشعاع المؤين.

الرباط الصغير)فرين-يو-لم(طية من النسيج التى تربط هيكلًا متحركًا بهيكل نسبيًا غير متحرك، مثل الشفة باللثة أو اللسان بأرضية الفم. الشكل 25.4

الزفير 1. الزفير. 2. الموت.

التمديد حركة مفصل تزيد الزاوية بين العظام المتصلة)تُقوّى المفصل(. الشكل 9.12 *قارن* الانثناء.

السائل خارج الخلوى)ECF(أى سائل فى الجسم ليس محتوى داخل الخلايا؛ على سبيل المثال، الدم، اللمف، وسائل الأنسجة.

خارجي (ec-STRIN-sic) 1. ناشئ من الخارج، مثل عوامل تجلط الدم الخارجية؛ خارجى المنشأ. 2. غير محتوى بالكامل داخل عضو أو منطقة محددة ولكنه يؤثر عليها، مثل العضلات الخارجية لليد والعين. *قارن* داخلى.

F

الانتشار الميسر عملية نقل مادة كيميائية عبر غشاء خلوى، باتجاه تدرج تركيزها، بمساعدة حامل لا يستهلك ATP؛ يتيح للمواد الانتشار عبر الغشاء التى كانت ستنتشر بصعوبة أو لا تنتشر على الإطلاق بدون حامل.

التيسير جعل عملية ما أكثر احتمالاً للحدوث، مثل إطلاق العصبون، أو جعلها تحدث بسهولة أو بسرعة أكبر، كما فى الانتشار الميسر.

اللفافة (FASH-ee-uh) طبقة من النسيج الضام بين العضلات أو تفصل العضلات عن الجلد. الشكل 10.1

حزمة (FASS-ih-cul) حزمة من ألياف العضلات أو الأعصاب مغلفة بالنسيج الضام؛ عدة حزم مرتبطة معًا تشكل عضلة أو عصبًا كاملاً. الأشكال 10.1، 13.9

الدهون 1. جزيء ثلاثى الجليسريد. 2. نسيج دهنى.

حمض دهنى جزيء عضوى يتكون من سلسلة من عدد زوجى من ذرات الكربون مع مجموعة كربوكسيل فى أحد الطرفين ومجموعة ميثيل فى الطرف الآخر؛ أحد الوحدات البنائية لثلاثى الجليسريدات والفوسفوليبيدات.

مثقّب (FEN-eh-stray-ted) مثقّب بثقوب أو شقوق، كما فى الأوعية الدموية المثقبة الشعيرات الدموية والأغشية المرنة للشرايين الكبيرة. الشكل 20.5

الجنين فى التطور البشرى، فرد من بداية الأسبوع التاسع عندما تكون جميع أجهزة الجسم موجودة، وحتى وقت الولادة. *قارن* الجنين المفهوم، الجنين، ما قبل الجنين.

الفيبرين (FY-brin) بروتين ليفى لزج يتكون من الفيبرينوجين فى الدم، سائل الأنسجة، واللمف؛ يشكل مصفوفة الجلطة الدموية.

الفيبروبلاست خلية نسيج ضام تنتج ألياف الكولاجين والمادة الأساسية؛ النوع الوحيد من الخلايا فى الأوتار والأربطة.

التليف استبدال الأنسجة التالفة بنسيج ندبى ليفى بدلاً من نوع النسيج الأصلى؛ التندب. *قارن* التجدد.

النسيج الضام الليفى أى نسيج ضام يحتوى على غلبة الألياف، مثل النسيج الرخو، الشبكى، الكثيف المنتظم، والكثيف غير المنتظم.

النهاية العظمية (eh-PIF-ih-sis) 1. رأس العظم الطويل. الشكل 7.1 2. الغدة الصنوبرية)النهاية العظمية الدماغية(.

الطهارة نوع من الأنسجة يتكون من طبقة أو أكثر من الخلايا المتلاصقة بإحكام مع وجود قليل من المادة بين الخلوية وعدم وجود أوعية دموية؛ يشكل أغلفة وبطانات العديد من الأعضاء والبرنشيم فى الغدد. يُعرف أيضاً باسم *النسيج الطهارى.*

النسيج الانتصابى نسيج يعمل عن طريق الانتفاخ بالدم، كما فى القضيب والبظر والصدفة السفلية لتجويف الأنف.

كريات الدم الحمراء (eh-RITH-ro-site) خلية دم حمراء.

تكوين كريات الدم الحمراء (eh-RITH-ro-poy-EE-sis) (إنتاج كريات الدم الحمراء.

إريثروبويتين)إيه-ريث-رو-بو-ى-إى-تين(هرمون يُفرز بواسطة الكليتين والكبد استجابةً لنقص الأكسجة فى الدم ويحفز تكوين كريات الدم الحمراء.

الإستروجينات)إيس-ترو-جينز(عائلة من الهرمونات الستيرويدية المعروفة بشكل خاص بإنتاج الصفات الجنسية الثانوية الأنثوية وتنظيم جوانب مختلفة من دورة الحيض والحمل؛ الأشكال الرئيسية هى الإستراديول، الإسترول، والإسترون.

التطور تغير فى الترددات النسبية للأليلات فى مجموعة سكانية على مدى فترة زمنية؛ الآلية التى تنتج التكيفات فى الشكل والوظيفة البشرية. *انظر أيضًا* التكيف.

الاستثارة قدرة الخلية على الاستجابة لمحفز، وخاصة قدرة خلايا الأعصاب والعضلات على إنتاج تغييرات فى جهد الغشاء استجابةً للمحفزات.

الاقتران بين الاستثارة والانقباض الأحداث التى تربط التحفيز المشبكى لخلية عضلية ببدء الانقباض.

جهد ما بعد المشبكى منشط)EPSP(استقطاب جزئى لخلية عصبية أو عضلية بعد المشبك استجابةً لناقل عصبى، مما يجعلها أكثر احتمالًا للوصول إلى العتبة وإنتاج جهد فعل.

الإفراز عملية التخلص من نفايات الأيض من خلية أو من الجسم. *قارن* الإفراز.

الغدة الخارجية (EC-so-crin) غدة تقوم بإفراز منتجاتها إلى عضو آخر أو إلى سطح الجسم، عادة عبر قناة؛ على سبيل المثال، الغدد اللعابية والمعدية. *قارن* الغدة الصماء.

الطرح الخلوى (EC-so-sy-TOE-sis) عملية تندمج فيها الحويصلة فى سيتوبلازم الخلية مع غشاء البلازما وتفرغ محتوياتها من الخلية؛ تُستخدم فى التخلص من نفايات الخلايا، وإفراز منتجات الغدد والناقلات العصبية، ولتعويض الغشاء الذى تمت إزالته بواسطة الطرح الخلوى العكسى)الابتلاع الخلوى(.

خارجي (ec-SODJ-eh-nus) منشأه خارجى، مثل الكوليسترول الخارجى)الغذائى(؛ خارجى. *قارن* داخلى.

مرتبط به، يوجد فى أغشية البلازما للخلايا.

التحلل السكرى (gly-COLL-ih-sis) سلسلة من تفاعلات الأكسدة اللاهوائية التى تكسر جزىء الجلوكوز إلى جزيئين من البيروفات وتنتج كمية صغيرة من ATP.

الجليكوبروتين (GLY-co-PRO-teen) جزىء بروتين مرتبط تساهميًا بجزىء كربوهيدرات أصغر؛ يوجد فى المخاط و الطبقة السكرية المحيطة بالخلايا، على سبيل المثال.

جليكوزأمينوجليكان (GAG) (GLY-co-seh-ME-no-GLY-can) هو بوليسكاريد يتكون من سكريات معدلة تحتوى على مجموعات أمينية؛ وهو المكون الرئيسى للبروتيوغليكان. تُعتبر GAGs مسؤولة إلى حد كبير عن القوام اللزج لهلام الأنسجة وصلابة الغضروف.

الجلوكوز فى البول (GLY-co-SOOR-ee-uh) وجود الجلوكوز فى البول، عادة ما يشير إلى مرض فى الكلى، داء السكرى، أو اضطراب غدد صماء آخر.

خلية الكأس خلية غدية تفرز المخاط، على شكل يشبه كأس النبيذ إلى حد ما، توجد فى طهارة العديد من الأغشية المخاطية. الشكل 5.33أ

مجمع جولجى (GOAL-jee) عضية مكونة من عدة حويصلات متوازية، تشبه إلى حد ما كومة من الصحون، تقوم بتعديل وتغليف البروتينات التى تم تصنيعها حديثًا وتخليق الكربوهيدرات.

الشكل 3.29

حويصلة جولجى حويصلة محاطة بغشاء مقتطعة من مجمع جولجى، تحتوى على منتجها الكيميائى؛ قد تبقى داخل الخلية كجسيم هضمى أو تصبح حويصلة إفرازية تطلق المنتج عن طريق الإفراز الخلوى.

الغدد التناسلية المبيض أو الخصية.

الهرمون المنشط للغدد التناسلية (go-NAD-oh-TRO-pin) هرمون من الغدة النخامية يحفز الغدد التناسلية؛ تحديدًا الهرمون المنشط للحوصلة (FSH) والهرمون اللوتينى (LH).

بروتين G بروتين فى غشاء البلازما يتم تنشيطه بواسطة مستقبل غشائى، وبدوره يفتح قناة أيونية أو ينشط استجابة فسيولوجية داخل الخلية؛ مهم فى ربط ارتباط الليجاند بالمستقبل بأنظمة الرسائل الثانوية.

التدرج فرق أو تغير فى أى متغير، مثل الضغط أو تركيز كيميائى، من نقطة إلى أخرى فى الفضاء؛ يوفر أساسًا لحركات جزيئية مثل تبادل الغازات، الانتشار الميسر، والتناضح، وللحركات الجماعية مثل تدفق الدم، الهواء، والحرارة.

المادة الرمادية منطقة أو طبقة من النسيج فى الجهاز العصبى المركزى حيث توجد أجسام الخلايا العصبية، التغصنات، والمشابك؛ تشكل قشرة المخ والعقد القاعدية؛ قشرة المخيخ والنوى العميقة؛ نوى جذع الدماغ؛ ومركز الحبل الشوكى.

الشكل 14.6ح

التشريح الكلى الهيكل الجسدى الذى يمكن ملاحظته بدون تكبير.

طبقة الجرثومة أى من الطبقات النسيجية الثلاث الأولى لجنين: الأديم الظاهر، الأديم المتوسط، أو الأديم الباطن.

الحمل (جيس-تاي-شن) الحمل.

الجلوبيولين (جلوب-يو-لين) بروتين كروى الشكل مثل إنزيم، جسم مضاد، أو ألبومين؛ وخاصة عائلة من البروتينات فى بلازما الدم تشمل الألبومين، الأجسام المضادة، الفبرينوجين، والبروثرومبين.

كبسولة الكبيبة (غلو-مير-يو-لر) كبسولة ذات جدار مزدوج حول كل كبيبة فى الكلية؛ تستقبل ترشيح الكبيبة وتفرغه فى النبيب الملفوف القريب. الشكل 23.7

الكبيبة (غلو-مير-يو-لس) **1.** كتلة كروية من الشعيرات الدموية فى الكلية تقوم بترشيح البلازما وتنتج ترشيح الكبيبة، الذى يُعالج لاحقًا لتكوين البول. الشكل 23.7 **2.** كتلة كروية من النهايات العصبية فى البصلة الشمية حيث تتشابك الخلايا العصبية الشمية القادمة من الأنف مع خلايا الميترال والشجيرية فى البصلة. الشكل 16.7

الجلوكاجون (جلو-كا-جون) هرمون يُفرز من خلايا ألفا فى جزر البنكرياس استجابة لانخفاض سكر الدم؛ يعزز تحلل الجليكوجين وتأثيرات أخرى ترفع تركيز الجلوكوز فى الدم.

الجلوكوكورتيكويد (GLUE-co-COR-tih-coyd) أى هرمون من قشرة الغدة الكظرية يؤثر على استقلاب الكربوهيدرات والدهون والبروتين؛ وخاصة الكورتيزول والكورتيكوستيرون.

تكوين الجلوكوز (GLUE-co-NEE-oh-JEN-eh-sis) تخليق الجلوكوز من المركبات غير الكربوهيدراتية مثل الدهون والأحماض الأمينية.

الجلوكوز سكر أحادى ($C_6H_{12}O_6$) يُعرف أيضًا باسم سكر الدم؛ الجليكوجين، النشا، السليلوز، والمالتوز كلها مكونة بالكامل من الجلوكوز، ويشكل الجلوكوز نصف جزىء السكروز أو اللاكتوز. النظير المستخدم فى الفسيولوجيا البشرية يُسمى أيضًا *ديكستروز.*

تأثير توفير الجلوكوز تأثير للدهون أو غيرها من ركائز الطاقة حيث تُستخدم كوقود من قبل معظم الخلايا، بحيث لا تستهلك هذه الخلايا الجلوكوز؛ مما يجعل المزيد من الجلوكوز متاحًا للخلايا مثل الخلايا العصبية التى لا تستطيع استخدام ركائز طاقة بديلة.

الغليكوكاليكس (GLY-co-CAY-licks) طبقة من جزيئات الكربوهيدرات مرتبطة تساهميًا بالفوسفوليبيدات والبروتينات فى غشاء البلازما؛ تشكل طبقة سطحية على جميع الخلايا البشرية.

الجليكوجين (GLY-co-jen) بوليمر جلوكوز يُصنع بواسطة خلايا الكبد والعضلات والرحم والمهبل ويعمل ككربوهيدرات تخزين للطاقة.

تكوين الجليكوجين (GLY-co-JEN-eh-sis) تخليق الجليكوجين.

تحلل الجليكوجين (GLY-co-jeh-NOLL-ih-sis) تحلل الجليكوجين بالماء، مما يحرر الجلوكوز.

الجليكوليبيد (GLY-co-LIP-id) جزىء فوسفوليبيد مرتبط تساهميًا بكربوهيدرات

المستوى الأمامى مستوى تشريحى يمر عبر الجسم أو عضو من اليمين إلى اليسار ومن الأعلى إلى الأسفل، مقسمًا الجسم أو العضو إلى أجزاء أمامية وخلفية؛ يُسمى أيضًا *المستوى الإكليلى*. الشكل A.1

قاع القاعدة، أوسع جزء، أو الجزء الأبعد عن فتحة بعض الأحشاء مثل المعدة والرحم.

حبل عصبى (few-NICK-you-lus) حزمة من ألياف الأعصاب فى الحبل الشوكى، مرتبة فى ثلاث أزواج تشكل المادة البيضاء الشوكية؛ مقسمة إلى مسارات (حزم). الشكل 13.3

مغزلى الشكل (FEW-zih-form) على شكل مغزل دولاب الغزل؛ ممدود، سميك فى الوسط، ومدبب فى الطرفين، مثل شكل خلية العضلات الملساء أو مغزل العضلة.

G

جاميت (GAM-eet) خلية بويضة أو حيوان منوى.

تكوين الجاميتات (geh-ME-to-JEN-eh-sis) إنتاج البويضات أو الحيوانات المنوية.

عقدة عصبية (GANG-glee-un) تجمع لأجسام الخلايا العصبية فى الجهاز العصبى المحيطى، غالبًا ما يشبه عقدة فى خيط.

غرغرينا نخر فى الأنسجة ناتج عن نقص التروية الدموية.

وصلة فجوية وصلة بين خليتين تتكون من مسام محاطة بحلقة من البروتينات فى غشاء البلازما لكل خلية؛ تسمح للذائبات بالانتشار من سيتوبلازم خلية إلى أخرى؛ تشمل الوظائف نقل المغذيات بين الخلايا فى الجنين النامى والتواصل الكهربائى بين خلايا عضلة القلب والعضلات الملساء. انظر أيضًا المشبك الكهربائى. الشكل 5.28

معدى متعلق بالمعدة.

بوابة قناة بروتينية فى غشاء خلوى يمكن أن تفتح أو تغلق استجابة لمحفزات كيميائية، كهربائية، أو ميكانيكية، وبالتالى التحكم فى متى يُسمح للمواد بالمرور عبر الغشاء. قد يحدث ذلك فى غشاء البلازما وكذلك أغشية العُضيّات السيتوبلازمية.

الجين جزء من الحمض النووى (DNA) يحتوى على معلومات يرمز لإنتاج جزىء من RNA، والذى فى معظم الحالات يلعب دورًا فى تخليق بروتين واحد أو أكثر.

موقع الجين الموقع على الكروموسوم حيث يوجد جين معين.

الجينوم (JEE-nome) جميع الجينات الخاصة بفرد واحد، ويُقدّر عددها بحوالى ٢٠,٠٠٠ جين فى البشر.

النوع الجينى (JEE-no-type) زوج الأليلات الذى يمتلكه الفرد فى موقع جينى واحد على زوج من الكروموسومات المتماثلة؛ ويؤثر بقوة على النمط الظاهرى للفرد فى صفة معينة.

خلية جرثومية جاميت (حيوان منوى أو بويضة) أو أى خلية سابقة مخصصة لتصبح جاميت، مثل الخلية الأولية للبويضة أو الخلية المنوية الأولية.

موجهة الغدد التناسلية المشيمائية البشرية)HCG(هرمون
الحمل يُفرز من المشيمة
ويحفز النمو المستمر للجسم الأصفر
وإفراز هرموناته. وجود HCG فى
البول هو أساس اختبار الحمل.
فيروس نقص المناعة البشرية)HIV(فيروس يصى
ب خلايا T المساعدة البشرية وخلايا أخرى، ى
ثبط المناعة، ويسبب الإيدز.
الغضروف الزجاجى)HY-uh-lin(شكل م
ن الغضروف ذو مصفوفة واضحة نسبيًا وأليا
ف كولاجين دقيقة ولكن بدون ألياف مرنة بارزة أو
حزم كولاجين خشنة كما فى أنواع الغضاريف ا
لأخرى.
حمض الهيالورونيك (HI-ul-yur-ON
-ic) جليكوزأمينوجليكان يتواجد
بكثرة فى الأنسجة الضامة، حيث يمتص ا
لماء ويشكل هلام الأنسجة.
الرابطة الهيدروجينية جذب ضعيف بين ذرة هى
دروجين ذات شحنة موجبة طفيفة فى جز
ىء ما وذرة أكسجين أو نيتروجين ذات شحنة
سالبة طفيفة فى جزىء آخر، أو بين مثل
هذه الذرات فى أجزاء مختلفة من نفس الجزىء
؛ وهى المسؤولة عن تماسك الماء ولف البرو
تينات وجزيئات DNA، على سبيل المثال.

التحلل المائى)hy-DROL-ih-sis(تفاعل
كيميائى يكسر رابطة تساهمية فى جزىء ع
ن طريق إضافة مجموعة — OH إلى جانب
واحد من الرابطة و — H إلى الجانب الآخ
ر، مما يستهلك جزىء ماء.
محب للماء)HY-dro-FILL-ic(يتعلق با
لجزيئات التى تجذب الماء أو تذوب فيه بسب
ب طبيعتها القطبية.
كاره للماء)HY-dro-FOE-bic(يتعلق بالج
زيئات التى لا تجذب الماء أو تذوب فيه بسبب
طبيعتها غير القطبية؛ تميل هذه الجزيئات إل
ى الذوبان فى الدهون والمذيبات غير القطبية ا
لأخرى.
الضغط الهيدروستاتيكى القوة الفيزيائية التى يمار
سها سائل مثل الدم أو سائل الأنسجة على سط
ح ما، على عكس الضغوط الاسموزية وال
جوّية.
فرط كالسيوم الدم (HY-per-cal-SEE-me-uh)
زيادة فى أيونات الكالسيوم فى الدم.
فرط ثانى أكسيد الكربون فى الدم)HY-pur-CAP-nee-uh(زيا
دة فى ثانى أكسيد الكربون فى الدم.
التمدد المفرط حركة مفصلية تزيد
الزاوية بين عظمتين إلى أكثر من 180 درجة.
الشكل 9.12
فرط سكر الدم)HY-pur-gly-SEE-me-uh(زيادة
مفرطة فى الجلوكوز فى الدم.
فرط بوتاسيوم الدم)HY-pur-ka-LEE-me-uh(زيادة
مفرطة فى أيونات البوتاسيوم فى الدم.
فرط صوديوم الدم)HY-pur-na-TREE-me-uh(زيادة
مفرطة فى أيونات الصوديوم فى الدم.
فرط التنسج)HY-pur-PLAY-zhuh(نمو
النسيج من خلال تكاثر الخلايا، وليس
تكبير الخلايا. *قارن* التضخم.
فرط الاستقطاب تحول فى الجهد الكهربائى
عبر غشاء البلازما إلى قيمة
أكثر سلبية من جهد الراحة.

الهيموغلوبين)HE-mo-GLO-bin(صبغة نقل الغاز الحمراء
فى كريات الدم الحمراء.
الهبارين)HEP-uh-rin(عديد السكاريد يُفرز
من قبل الخلايا القاعدية وخلايا البدينة ويمنع
تجلط الدم.
كبدوى)heh-PAT-ic(متعلق بالكبد.
نظام البوابة الكبدية شبكة من الأوعية الدموية
تربط الشعيرات الدموية فى
الأمعاء مع الشعيرات الدموية)الجيوب(فى الكبد،
مما يتيح توصيل المغذيات الممتصة حديثًا
مباشرة إلى الكبد.
متغاير الزيجوت)HET-er-oh-ZY-gus(وجود
أليلات غير متطابقة فى نفس موقع الجين على
كروموسومين متماثلين.
البروتين الدهنى عالى الكثافة)HDL(هو بروتين ده
نى فى بلازما الدم يتكون من حوالى 50% دهون
و50% بروتين؛ وظيفته نقل الفسفوليبيدا
ت والكوليسترول من الأعضاء الأخرى إلى ال
كبد للتخلص منها. نسبة عالية من HDL إ
لى البروتين الدهنى منخفض الكثافة)LDL(مرغو
بة لصحة القلب والأوعية الدموية.
الصحة.
الهيلوم)HY-lum(نقطة على سطح العضو تدخ
ل وتخرج منها الأوعية الدموية، والأوعية اللمفاو
ية، أو الأعصاب، وعادة ما تكون مميزة بانخفاض
وشق؛ وهى منتصف السطح المقعر لأى
عضو يشبه الفاصوليا تقريبًا، مثل العقد اللمفاو
ية، والكلى، والرئتين. وتسمى أيضًا الهيلو
س.
الشكل 22.9ب
الهيستامين مركب مشتق من الأحماض الأمينية ى
فرزه الخلايا القاعدية، وخلايا البدينة، وبعض ا
لخلايا العصبية؛ يعمل كإفراز باراكرينى ونا
قل عصبى لتحفيز تأثيرات مثل إفراز المعدة، و
تضيق الشعب الهوائية، وتوسع الأوعية الدمو
ية. الشكل 12.22
علم الأنسجة .1 التركيب المجهرى للأنسجة والأعضاء.
.2 دراسة هذا التركيب.
التوازن الداخلى (HO-me-oh-STAY-sis)
ميل الجسم الحى للحفاظ على ظروف دا
خلية مستقرة نسبيًا بالرغم من التغيرات الكبيرة
فى بيئته الخارجية.
المتماثل (ho-MOLL-uh-gus) **.1** له نفس الأصل
الجنينى أو التطورى ولكن ليس بالضرورة نفس ا
لوظيفة، مثل كيس الصفن والشفرين الكبير
ين. **.2** يتعلق بكروموسومين لهما نفس التركيب
ومواقع الجينات ولكن ليس بالضرورة نفس ا
لأليلات؛ كل عضو من الزوج موروث من أحد الوا
لدين المختلفين.

متماثل الزيجوت)HO-mo-ZY-gus(وجود أليلات متطابقة
فى نفس موقع الجين فى اثنين
الكروموسومات المتماثلة.
الهرمون رسول كيميائى يُفرز
من غدة صماء أو خلية غدية معزولة،
يسافر فى مجرى الدم، ويحفز
استجابة فسيولوجية فى خلايا بعيدة تحتوى
على مستقبلات له.
خلية مضيفة أى خلية تنتمى إلى جسم الإنسان، على
عكس الخلايا الأجنبية التى تدخل إليه بسبب م
ثل العدوى وزرع الأنسجة.

عامل النمو رسول كيميائى يحفز الانقسام ال
خلوى والتمايز فى الخلايا المستهدفة التى
تحتوى على مستقبلات له؛ مهم فى ع
مليات مثل تطور الجنين، وصيانة الأ
نسجة وإصلاحها، وتكوين الدم؛ وأحيانًا يكون عا
ملاً مساهمًا فى السرطان.

هرمون النمو)GH(هرمون من الغدة النخام
ية الأمامية له تأثيرات متعددة على العديد من ا
لأنسجة، ويعزز عمومًا نمو الأنسجة.

التذوق)gus-TAY-shun(حاسة التذوق.
التلفيف)JY-rus(تجعد أو طية فى قشرة
المخ أو المخيخ.

H

خلية شعر خلية حسية فى القوقعة، والقنوات
نصف الدائرية، واليوتريكول، والساكول، مع
هامس من الأهداب السطحية التى تستجيب لل
حركة النسبية لغشاء هلامى عند أطرافها؛ مسؤ
ولة عن حواس السمع، ووضع الجسم، وا
لحركة.
جريب الشعر حفرة فى البشرة تحتوى على شعرة و
تمتد إلى الأدمة أو تحت الأدمة.
نصف العمر ($T_{1/2}$) .1 الوقت اللازم لانحلال نصف كم
ية عنصر مشع إلى نظير مستقر *(نصف العمر ال
فيزيائى)* أو للتخلص منه من الجسم من خلال مز
يج من الانحلال الإشعاعى والإفراز الفسيولوجى
(نصف العمر البيولوجى). **.2** الوقت اللاز
م للتخلص من نصف كمية هرمون من مجرى
الدم.

أحادى المجموعة الصبغية (n) فى البشر، وجود
23 كروموسومًا غير مزدوج بدلاً من 46
كروموسومًا المعتادة فى أزواج متماثلة؛ فى أى
كائن حى أو خلية، وجود نصف العدد الطبيع
ى للكروموسومات الثنائية المجموعة لذلك ا
لنوع.
خلية تي المساعدة نوع من الخلايا اللمفاوى
ة التى تؤدى دورًا مركزيًا فى التنسيق بين
المناعة الخلطية والخلوية؛ الهدف الرئيسى لفى
روس نقص المناعة البشرية)HIV(.
الهيماتوكريت)he-MAT-oh-crit(نسبة حجم ا
لدم التى تتكون من
كريات الدم الحمراء؛ وتسمى أيضًا *حجم الخلايا المعبأة*.
ورم دموى)HE-muh-TOE-muh(كتلة م
ن الدم المتجلط فى الأنسجة؛ يتكون ككدمة
عندما يكون مرئيًا من خلال الجلد.
تكوّن الدم)he-MAT-o-poy-EE-sis(إن
تاج أى من العناصر المشكلة للدم.

خلية جذعية مكونة للدم)HSC(خلية من نخاع العظم ا
لأحمر يمكنها أن تعطى، من خلال سلسلة من
الخلايا الوسيطة، كريات الدم الحمراء، الصفائح ا
لدموية، أنواعًا مختلفة من البلاعم، وأى نوع من
كريات الدم البيضاء.
الهيم)ينطق "هيم"(المجموعة البروستيتية غير البرو
تينية التى تحتوى على الحديد فى الهيموغ
لوبين أو الميوغلوبين؛ يرتبط الأكسجين بذرة الحديد الخ
اصة به. الشكل 18.5

الإدخال تقليديًا، هو ارتباط العضلة الهيكلية بعظم أو هيكل آخر يتحرك عندما تنقبض الع ضلة. هذا المصطلح يتم التخلي عنه الآن من قبل السلطات في علم التشريح البشري. *قارن الأ صل.*

الشهيق. **2.** المحفز الذي أدى إ **1.** **الشهيق** لى هذا الكتاب.

البروتين المتكامل بروتين في غشاء البلازما يغزو أو يمر عبر طبقة الفسفوليبيد الثنائية بال كامل. الشكل 3.6الاندماج عملية يستقبل فيها العصبون مدخلات من مصادر متعددة وتأثيراتها

المجتمعة تحدد مخرجاته؛ الأساس الخلوي ل معالجة المعلومات بواسطة الجهاز العصبي.

القرص المتداخل)in-TUR-ka-LAY-ted(م جمع من اللفافة اللاصقة، الوصلات الفجوية، والد يسموسومات التي تربط خليتين عضليتين قلبيتي ن من الطرف إلى الطرف، مرئية مجهرية كخط دا كن يساعد على التمييز النسيجي لهذا النوع من العضلات؛ يعمل كرابط ميكاني كي وكهربائي بين الخلايا.

الشكل 19.11

بين الخلايا بين الخلايا.

بين الأضلاع)IN-tur-COSS-tul(بين الأضلاع، كما في عضلات الأضلاع، والشرايين، والأوردة، والأعصاب.

يتشابك)IN-tur-DIDJ-ih-tate(ليتناسب معًا مثل أصابع اليدين المطويتين؛

على سبيل المثال، عند الحدود بين الأدمة والطبقة الخارجية للجلد

الحدود، الأقراص المتداخلة للقلب، و عمليات القدم للخلايا الكلوية)بودوسايتس(في الكلية.

الشكل 23.10ب

إنترلوكين)IN-tur-LOO-kin(رسول كيميا ئي يشبه الهرمون من كريات الدم البيضاء إلى أخرى، يعمل كوسيلة للتواصل والتنسيق أثناء الا ستجابات المناعية.

خلية عصبية داخلية)IN-tur-NEW-ron(خلية ع صبية تقع بالكامل داخل الجهاز العصبي ال مركزي، وتقع في مسار توصيل الإشارة في أي م كان بين المسار الوارد والمسار الصادر.

الغشاء العظمي بين العظام)IN-tur-OSS-ee-us(غشاء ل يفي يربط بين عظم الكعبرة)radius(وعظم الزند)ulna(و بين عظم الظنبوب)tibia(وعظم الشظية)fibula(على طو ل معظم جذع كل عظم. الشكل 8.34

الطور البيني ذلك الجزء من دورة الخلية بين مرح لة انقسام واحدة والمرحلة التالية، من نهاية الان قسام السيتوبلازمي إلى بداية الطور التمهيد ي التالي.

بين الأنسجة **1**(IN-tur-STISH-ul) متعلق بالفرا غات خارج الخلوية في النسيج. **2.** يقع بين هياكل أخرى، كما في الخلايا بين الأنسجة في الخصية والسائل بين الأنسجة)خارج الخلايا(في الأنسجة.

القرص بين الفقري وسادة غضروفية بين أجسام فق رتين متجاورتين.

داخل الخلية داخل الخلية.

السائل داخل الخلية)ICF(السائل الموجود داخل ا لخلايا؛ أحد المقصورات السائلة الرئيسية في الجسم.

نقص الأكسجين في الدم)HY-pock-SEE-me-uh(نقص الأكسجين في مجرى الدم.

نقص الأكسجين)hy-POCK-see-uh(نقص الأكسجين في أي نسيج.

انا

الجهاز المناعي نظام من الدفاعات المتنوعة ضد ا لأمراض، بما في ذلك الكريات البيضاء وخ لايا المناعة الأخرى، والمواد الكيميائية الدفاعية مثل الأجسام المضادة، والعمليات الفسيولوجية مثل الحمى والالتهاب، والحواجز الفيزيائية لمنع العدوى مثل الجلد والأغشية المخاطية؛ لي س نظامًا عضويًا بحد ذاته بل مصطلح شامل ل مكونات الدفاع في عدة أنظمة عضوية. *انظر أي ضًا* المناعة التكيفية؛ المناعة الفطرية.

المناعة القدرة على مقاومة عدوى أو مرض معين بواسطة أي من

آليات المناعة الفطرية أو التكيفية في الجسم.

الآليات.

الجلوبيولين المناعي (IM-you-no-GLOB -you-lin)

انظر الجسم المضاد.

الزرع ارتباط الجنين ببطانة الرحم.

الشمول أي جسم مرئي في سيتوبلازم الخلية غير عضية أو

عنصر هيكلي خلوي؛ عادة ما يكون جسمًا غريبًا أ و منتجًا مخزنًا داخل الخلية، مثل فيروس، جسيم غبار، قطيرة دهنية، حبيبة جليكوجين، أو صبغة.

احتشاء **1**(in-FARK-shun) الموت المفاجئ للنسي ج نتيجة نقص التروية الدموية.

2. منطقة من النسيج الميت الناتج عن هذه العملية؛ وتسمى أيضًا *احتشاء.*

سفلي أدنى من هيكل أو نقطة مرجعية أخرى من م نظور الوضع التشريحي؛ على سبيل المثال، الم عدة تقع أسفل الحجاب الحاجز.

التهاب مجموعة معقدة من استجابات الأنسجة للإ صابة أو العدوى تهدف إلى صد الممرض و تعزيز إصلاح الأنسجة؛ وتُعرف بعلاما ت cardinal وهي الاحمرار، والحرارة، والتورم، والألم.

الأربية)IN-gwih-nul(متعلق بمنطقة الفخذ.

جهد ما بعد التشابك العصبي المثبط)IPSP(

فرط استقطاب خلية عصبية بعد التشابك استجا بةً لناقل عصبي، مما يجعلها أقل احتمالًا للوصو ل إلى العتبة وإطلاق إشارة عصبية.

المناعة الفطرية الدفاعات غير النوعية ضد العدوى أو المرض الموجودة والفعالة منذ الولادة، تعمل بشكل متساوٍ ضد عدة عوامل مرضية، لا تتطلب تعرضًا سابقًا، ولا تمتلك ذاكرة مناع ية. تشمل الحواجز الطهارية، الخلايا القا تلة الطبيعية، كريات الدم البيضاء الأخرى، البلع ميات، البروتينات المضادة للميكروبات، وعم ليات الالتهاب والحمى. *انظر أيضًا* المناعة ال تكيفية.

التعصيب)IN-ur-VAY-shun(إمداد العصب لعضو.

جهد محتمل، يميل إلى تثبيط عصب أو خلية عضلية. *قارن* إزالة الاستقطاب.

فرط الإفراز إفراز مفرط لهرمون أو منتج غد ي آخر؛ قد يؤدي إلى اضطرابات الغدد الصماء مثل مرض أديسون أو ضخامة الأطراف، على سبيل المثال.

ارتفاع ضغط الدم ضغط دم مرتفع بشكل مفرط؛ تختلف المعايير ولكن غالبًا ما يُعتبر حالة يتجاوز فيها الضغط الانقباضي 140 ملم زئبق أو الضغ ط الانبساطي 90 ملم زئبق أثناء الراحة.

فرط التوتر يمتلك ضغطًا أسموزيًا أعلى من خلايا الإنسان أو من محلول مرجعي آخر ويميل إ لى التسبب في انكماش خلوي أسموزي

.

تضخم)hy-PUR-truh-fee(نمو نسيج من خلا ل تكبير الخلايا، وليس من خلال تكاثر الخ لايا؛ على سبيل المثال، نمو العضلات تح ت تأثير التمرين. *قارن* فرط التنسج.

نقص كالسيوم الدمHY-po-cal-SEE-me-uh) (نقص أيونات الكالسيوم في الدم.

نقص ثاني أكسيد الكربون في الدم (HY-po-CAP-nee-uh)

نقص ثاني أكسيد الكربون في الدم.

تحت الجلد)*HY-po-DUR-miss*(*طبقة من ال نسيج الضام تقع عميقًا تحت الجلد؛ تُسمى أيضًا ال لفافة السطحية، النسيج تحت الجلد*، أو عندما تكون مكونة بشكل رئيسي من الدهون، *الدهون تحت الجلد.*

نقص سكر الدمHY-po-gly-SEE-me-u) h(نقص الجلوكوز في الدم.

نقص بوتاسيوم الدم (HY-po-ka-LEE-me-uh)

نقص في أيونات البوتاسيوم في الدم.

نقص صوديوم الدم (HY-po-na-TREE-me-uh)

نقص في أيونات الصوديوم في الدم.

نقص الإفراز إفراز غير كافٍ لهرمون أو من تج غدي آخر؛ قد يؤدي إلى اضطرابات الغدد ال صماء مثل داء السكري أو قزامة النخامية، على سبيل المثال.

منظم حرارة تحت المهاد نواة في تحت المهاد تراقب درجة حرارة الجسم وترسل إشارات واردة إلى مراكز تحت المهاد المعززة للحرارة أو المفقودة للحرارة للحفاظ على التوازن الحراري.

تحت المهاد)HY-po-THAL-uh-muss(الجز ء السفلي من الدماغ البيني، مشكلاً جدران وأ رضية البطين الثالث ومنشأً الغدة النخامية الخ لفية؛ يتحكم في العديد من الوظائف الف سيولوجية الأساسية مثل الشهية، العطش، و درجة حرارة الجسم ويمارس العديد من تأثيراته م ن خلال الجهازين الصماوي والذاتي العصبي. ا لشكل 14.12ب

فرضية تخمين مستنير يمكن اختباره وقد يُد حض من خلال التجربة أو جمع البيانات. *انظر أيضًا* نظرية.

مخفض التوتر ذو ضغط أسموزي أقل من خلايا الإنسان أو بعض المحاليل المرجعية الأخرى ويميل إلى التسبب في تورم خلوي أسموزي وانحلال الخلايا.

كريات الدم البيضاء)LOO-co-site(خلية دم بيضاء.

اللوكوتريين)LOO-co-TRY-een(هو إيبكوسا نويد يعزز الاستجابات التحسسية والالتها بية مثل توسع الأوعية وحركة العدلات الكيميائية ؛ يُفرز بواسطة الخلايا القاعدية، وخلايا البدينة، وا لأنسجة التالفة.

الرغبة الجنسية)lih-BEE-do(الدافع الجنسى؛ ا لدافع النفسى للمشاركة فى الجنس.

الرباط شريط أو حبل كولاجينى يربط عضوًا بآخر، و خاصة عظمة بأخرى، ويعمل على تثبيت الأع ضاء فى مكانها؛ على سبيل المثال، الأربطة ا لصليبية للركبة، الرباط العريض للرحم، والر باط المنجلى للكبد.

الليجاند)LIG-and, LY-gand(مادة كيميا ئية ترتبط بشكل عكسى بموقع مستقبل على برو تين، مثل الناقل العصبى الذى يرتبط بمس تقبل الغشاء أو الركيزة التى ترتبط بالإنزيم.

القناة التى يفتحها الليجاند بروتين قناة فى غشا ء البلازما يفتح أو يغلق عندما يرتبط به مادة كيم يائية أخرى)ليجاند(، مما يمكّن الليجاند من تحد يد متى يمكن للمواد الدخول أو الخروج من الخ لية.

الميكروسكوب الضوئى)LM(ميكروسكوب ينتج صورًا باستخدام الضوء المرئى.

الخط)LIN-ee-uh(خط تشريحى، مثل ال خط الأبيض للبطن أو الخط الخشن لعظم الفخذ .

اللسانى)LING-gwul(متعلق باللسان، كما فى الحليمات اللسانية.

الليباز)LY-pace(إنزيم يحلل ثلاثى الح ليسريد إلى أحماض دهنية وجلسرين.

الليبيد مركب عضوى كاره للماء يتكون أسا سًا من الكربون ونسبة عالية من الهيدروجين إلى الأكسجين؛ يشمل الأحماض الدهنية، الدهون، ا لفسفوليبيدات، الستيرويدات، و البروستاجلاندينات.

البروتين الدهنى)LIP-oh-PRO-teen(قطيرة ده نية مغطاة بالبروتين فى بلازما الدم أو اللمف، تعمل كوسيلة لنقل الدهون؛ على سبيل الم ثال، الكيلومكرونات والبروتينات الدهنية عال ية ومنخفضة الكثافة.

تحميل 1. التقاط غاز للنقل فى مجرى الدم. **2.** ا لمقاومة التى تؤثر على العضلة.

الفصيصة)LOB-yool(تقسيم صغير لع ضو أو لفص من عضو، خاصةً الغدة.

الموضع الموقع على الكروموسوم حيث يقع جين معين.

العظم الطويل عظم مثل عظم الفخذ أو العضد يكو ن أطول بكثير من عرضه وعادةً ما يعمل كرا فعة.

طولى موجه على طول البعد الأطول للح سم أو العضو.

النسيج الضام الرخو ***انظر النسيج الشبكى.***

البروتين الدهنى منخفض الكثافة)LDL(بروتين ده نى فى بلازما الدم يحتوى على حوالى 80% دهون)معظمها كوليسترول(و20% برو تين؛ وظيفته نقل الكوليسترول إلى الأهداف

أجسام الكيتون بعض الكيتونات)الأسيتون، حمض الأسيتوأسيتيك، وحمض بيتا-هيدروكس ى بيوتيريك(التى تنتج عن أكسدة غير كاملة للدهو ن، خاصة عندما تكون الدهون متسارعة تم تحطيمه. *انظر أيضًا* الكيتوزية.

البول الكيتونى)KEE-toe-NEW-ree-uh(وجود غى ر طبيعى للكيتونات فى البول؛ علامة على دا ء السكرى ولكنها تحدث أيضًا فى حالات أخرى تتضمن أكسدة سريعة للدهون.

الكيتوز)kee-TOE-sis(تركيز مرتفع غ ير طبيعى لأجسام الكيتون فى الدم، يحدث أثنا ء الحمل، الجوع، داء السكرى، وحالات أخرى؛ يميل إلى التسبب فى الحماض ويثبط الجهاز ا لعصبى.

الكيلو كالورى كمية الطاقة الحرارية اللازمة لرفع درجة حرارة 1 كجم من الماء بمقدار 1 درجة مئوية؛ 10 00 كالورى. يُسمى أيضًا كالورى أو كالورى كبير. انظر أيضًا كالورى.

كيناز أى إنزيم يضيف مجموعة فوسفات غير عضوية)Pi(إلى جزيء عضوى آخر. يُسمى أيضًا *فوسفوكيناز.*

L

الشفة)LAY-bee-um(شفة، مثل شفتى ال فم والشفتين الكبيرتين والصغيرتين للفرج.

اللاكتيت حمض عضوى صغير يُنتج كناتج نهائى لل تخمير اللاهوائى للبيروفات؛ يُسمى حمض *اللاكتيك* فى شكله غير المؤين.

الفجوة)la-CUE-nuh(الجمع، *lacunae*(تجويف صغير أو انخفاض فى نسيج مثل العظم أو الغ ضروف؛ يُسمى *مساحة كهفية* فى الأنسج ة الانتصابية للقضيب والبظر.

الصفائح)la-MELL-uh(صفيحة صغيرة، مث ل صفيحة العظم. الشكل 7.4

الصفحة)LAM-ih-nuh(طبقة رقيقة، مثل صفحة الفقرة أو الصفحة الخاصة بالغشاء المخاط ى. الشكل 8.22

الطبقة الخاصة (LAM-ih-nuh PRO-pree-uh) طبقة رقيقة من النسيج الرخو تقع مباشرة تح ت الطهارة فى الغشاء المخاطى.

الشكل 5.33أ

الحنجرة)LAIR-inks(حجرة غضروفية فى الر قبة تحتوى على الأحبال الصوتية؛ تُسمى عاميًا صندوق الصوت.

الفترة الكامنة الفاصل الزمنى بين المنبه والاستج ابة، خاصة فى عمل خلايا الأعصاب والعضلات.

جانبى بعيدًا عن الخط الوسيط لعضو أو المستو ى المتوسط للجسم؛ نحو الجانب. *قارن* وسطى.

قانون وصف لفظى أو رياضى لظاهرة طبيعية يم كن التنبؤ بها أو للعلاقة بين المتغيرات؛ على سبيل المثال، قانون بويل للغازات وقانون

التزاوج القاعدى التكميلى فى الحمض النووى)DNA(.

آفة منطقة محددة من إصابة النسيج، مثل خد ش الجلد أو احتشاء عضلة القلب.

وريدى)I.V.(1. حاضر أو يحدث داخل وريد، مثل جلطة دموية وريدية داخلية. 2. يُدخل مباشرةً فى وريد، مثل حقنة وريدية أو تسريب وريدى)I.V.(.

جوهرى)in-TRIN-sic(1. ناشئ من الداخل، مثل عوا مل تجلط الدم الجوهرية؛ ذاتى المنشأ. 2. محتوى بالكامل داخل عضو محدد أو منطقة، مثل العضلات الجوهرية لليد والعين. *قارن* خارجى.

لا إرادى غير خاضع للسيطرة الواعية، بما فى ذلك الأنسجة مثل العضلات الملساء والقلبية والأحداث مثل ردود الفعل.

انكماش)IN-vo-LOO-shun(انكماش نس يج أو عضو عن طريق التحلل الذاتى، مثل انكما ش الغدة الزعترية بعد الطفولة وانكماش ا لرحم بعد الحمل.

أيون جسيم كيميائى يحمل أعدادًا غير متساوية من الإلكترونات أو البروتونات وبالتالى يحمل شحنة صافية سالبة أو موجبة؛ قد يحتوى على نواة ذرية واحدة كما فى أيون الصوديوم أو ع دة ذرات كما فى أيون البيكربونات، أو قد ى كون جزيئًا كبيرًا مثل البروتين.

رابطة أيونية القوة التى تربط الكاتيون بالأنيون.

الإشعاع المؤين أشعة كهرومغناطيسية عالية الطاقة تقوم بقذف الإلكترونات من الذرات أو ا لجزيئات وتحويلها إلى أيونات، مما ى سبب غالبًا تلفًا خلويًا؛ على سبيل المثال، أشعة إكس وأشعة غاما.

نفس الجانب)IP-sih-LAT-ur-ul(على نفس جانب الجسم، كما فى دوائر الانعكاس التى يحدث فيها استجابة عضلية على نفس جانب الجسم كما هو الحال مع المنبه. *قارن* مع الجانب المقابل.

نقص التروية)iss-KEE-me-uh(تدفق دم غير كافٍ إلى نسيج، مما يؤدى عادةً إلى ترا كم المستقلبات وأحيانًا موت النسيج.

متساوى القياس يتعلق بشكل من أشكال انقباض العضلات حيث يزداد التوتر الداخلى لكن العضلة لا تغير طولها أو تحرك جسمًا مقاومًا.

متساوى التوتر 1. امتلاك نفس الضغط الاسموزى مثل خ لايا الإنسان أو بعض المحاليل المرجعية الأخرى. 2. متعلق بشكل من أشكال انقباض العضلات حيث يغير العضلة طولها ولكن تحافظ على مقدار ثابت من التوتر.

ح

اليرقان)JAWN-diss(لون أصفر فى الج لد والقرنيات والأغشية المخاطية وسوائل الج سم بسبب تركيز مفرط من البيليروبين؛ وعادةً م ا يشير إلى مرض فى الكبد، أو انسداد فى إ فراز الصفراء، أو مرض تحللى دموى.

ك

الكيتون)KEE-tone(أى مركب عضوى يحتوى على مجم وعة كربونيل)C = O(مرتبطة تساهميًا بعمود فقرى مكون من ذرتين من الكربون.

التحول النسيجى تحول نوع نسيجى ناضج إلى
نوع آخر؛ على سبيل المثال، التغير من الط
هارة الكاذبة الطبقات إلى الظهارة الحرشفية ا
لطبقات فى تجويف أنفى مفرط التهوية.

النقائل   )meh-TASS-tuh-sis(انتشار خلاى
ا السرطان من الورم الأصلى إلى موقع جديد، ح
يث تبدأ فى تكوين ورم جديد.

الأنابيب الدقيقة أسطوانة داخل خلوية مكونة من
بروتين التوبولين، تُشكل المريكزات، محاور الأه
داب والأسواط، وجزءًا من الهيكل الخلوى.

الزغابة الدقيقة نتوء من غشاء البلازما يزيد
من مساحة سطح الخلية ويعمل فى الامتصاص
وبعض العمليات الحسية؛ ويتميز عن الأهدا
ب والأسواط بحجمه الأصغر وغياب المحور ا
لمركزى)axoneme(.

المكافئ الميلى ألف جزء من المكافئ، وهو كمية من
الإلكتروليت التى تعادل تعادل 1 مول من
H^+ أو OH^-.
تركيزات الإلكتروليت تُعبر عنها عادة بالمكا
فئات الميلى لكل لتر
(mEq/L).

الميتوكوندريون)MY-toe-CON-dree-un(ع
ضية متخصصة فى تخليق ATP، محاطة
بغشاء مزدوج مع طيات فى الغشاء الداخلى
تسمى الكريستا.

الانقسام الخيطى   )my-TOE-sis(هو شكل من أ
شكال انقسام الخلية حيث تنقسم الخلية مرة
واحدة وتنتج خليتين ابنتين متطابقتين وراثيًا؛ يُ
ستخدم أحيانًا للإشارة فقط إلى انقسام المادة الور
اثية أو النواة دون أن يشمل
الانقسام السيتوبلازمى، وهو الانقسام اللاحق لل
سيتوبلازم.

جزء   )MOY-eh-tee(وحدة فرعية كيميائ
ية مميزة من جزىء كبير، مثل جزء الهيم و
جزء الجلوبين فى الهيموغلوبين أو أجزاء الدهو
ن والكربوهيدرات فى الجليكوليبيد.

المولارية مقياس لتركيز كيميائى يُعبر عنه بعدد ال
مولات من المذاب لكل لتر من المحلول.

المول كتلة مادة كيميائية تساوى وزنها الجز
يئى بالغرامات، تحتوى على 6.023×10^{23}
جزىء.

الوحيدة   )MON-oh-site(نوع من الكريات ا
لبيضاء غير الحبيبية متخصصة فى الهجرة إلى
الأنسجة والتحول إلى بلعمة. الجدول 18.6

المونومر   (MON-oh-mur) **1.** واحدة من الوحدات الفرعية
المتطابقة أو المشابهة لجزىء أكبر فى نطاق الديمر إ
لى البوليمر؛ على سبيل المثال، وحدات الجلو
كوز فى النشا، الأحماض الأمينية فى البروتين، أو ال
نيوكليوتيدات فى الحمض النووى DNA.
2. وحدة فرعية واحدة من جزىء الأجسام المضادة،
تتكون من أربعة بولى ببتيدات.

أحادى السكاريد)MON-oh-SAC-uh-ride(س
كر بسيط، أو مونومر السكر؛ بشكل رئيسى ا
لجلوكوز، الفركتوز، والجالاكتوز.

المادة خارج الخلية للنسيج.   **1. مصفوفة**
2.   السائل داخل الميتوكوندريا
يحتوى على إنزيمات دورة حمض الستريك.
3.   المادة أو الإطار الذى تُدمج فيه
هياكل أخرى، مثل المصفوفة الليفية لجلطة
دموية. **4.** كتلة منخلايا البشرة التى يتطور منها
جذر الشعر أو جذر الظفر.

مستقبل ميكانيكىنهاية عصبية حسية أوعضو م
تخصص فى اكتشاف المحفزات الميكانيكية م
ثل اللمس، الضغط، التمدد، أو الاهتزاز.
وسطىنحو الخط الأوسط لعضو أو
المستوى المتوسط للجسم. *قارن* جانبى.
المستوى المتوسطالمستوى السهمى الذى يقسمال
جسم أو العضو إلى نصفين متساويين يمينًا
ويسارًا؛ ويُسمى أيضًا *المستوى السهمى المتو*
سط. الشكل A.1المنصف)مِيْدِيَا-سْتِيَنَم(الحاجز الم
توسط السميك لتجويف الصدر الذىيفصل
بين تجويف البلورا الأيمن والأيسرويحتوى عل
ى القلب، الأوعية الدموية الكبرى، المرىء، ال
قصبة الهوائية، والغدة الزعترية. الشكل A.
5النخاع)مِى-دُيُولَة، مِى-دُولَة(نسيج عميق تحت الق
شرة فى بعض الأعضاء ذات الطبقتين مثل
العقد اللمفاوية، الغدد الكظرية، الشعر، وا
لكلى.
النخاع المستطيل)مِى-دُولَة أُوب-لُون-غَا-تَا(الجزء ا
لأكثر سفليًا من جذع الدماغ، فوق الثق
ب الكبير فى الجمجمة مباشرة، يربط الح
بل الشوكى ببقية الدماغ. الأشكال 14.2، 14.8

الانقسام الاختزالى)ماى-أوه-سيس(شكل من أشكال انقسام الخ
لايا حيث تنقسم الخلية ثنائية الصيغة الصبغية مر
تين وتنتج أربع خلايا ابنة أحادية الصيغة الصبغية؛ يحدث ف
قط فى تكوين الأمشاج.
الخلايا الصباغية خلية من الطبقة القاعدية للبشرة
تقوم بتخليق الميلانين ونقله إلى الخلايا ا
لكيراتينية.
الأغشية السحائية   )meh-NIN-jeez( )المفرد،
meninx(ثلاث أغشية ليفية بين الجهاز العصبى
المركزى والعظام المحيطة: الأم الجافية، الأم ا
لعنكبوتية، والأم الحنون.
الشكل 14.5
ميروكرين   (MERR-oh-crin) *انظر* إكرين.
الميزنشيم   )MES-en-kime(نسيج ضام
جنينى هلامى مشتق من الميزوديرم؛ يتمايز إلى
جميع الأنسجة الضامة الدائمة والعضلات القل
بية والملساء.

المساريق   )MESS-en-tare-ee(غشاء م
صلى يربط الأمعاء معًا ويعلقها من جدار البط
ن؛ وهو استمرار حشوى للبريتوان.

الشكل 25.3
الميزوديرم   )MES-oh-durm(الطبقة الوسطى من
الطبقات الجرثومية الثلاثة للجنين؛
ينشأ منها العضلات والأنسجة الضامة.
الأيض   )meh-TAB-oh-lizm(التفاعلات
الكيميائية داخل الكائن الحى.
المستقلب   )meh-TAB-oh-lite(أى مادة كيميائية
ينتجها الأيض.

الخلايا. نسبة عالية من LDL إلى البروتين الد
هنى عالى الكثافة)HDL(هى عامل خطر لأمراض
القلب والأوعية الدموية.
القطنى   متعلق بالظهر السفلى والجوانب،
بين القفص الصدرى والحوض.
التجويف   )LOO-men(الفراغ الداخلى
لعضو أجوف مثل وعاء دموى أو المرىء، أو
فراغ محاط بخلايا إفرازية كما فى الحويصلة الغدية
.
هرمون التبويض)LH((LOO-tee-in-ize-ing)
هرمون يفرزه الغدة النخامية الأمامية يحفز
الإباضة لدى الإناث وإنتاج هرمون التستوس
تيرون لدى الذكور.

اللمف   السائل الموجود فى الأوعية اللمفاوية والع
قد اللمفاوية، ينتج عن امتصاص سائل الأنسجة.

العقدة اللمفاوية عضو صغير يوجد على طول
مسار الوعاء اللمفاوى يقوم بتصفية اللمف و
يحتوى على اللمفاويات والبلعميات ال
تى تستجيب للمستضدات فى اللمف. الشك
ل 21.12
اللمفاوى   )LIM-fo-site(كريات دم بيضاء صغ
يرة نسبياً بدون حبيبات، لها أنواع وأدوار متعددة فى الم
ناعة الفطرية، المناعة الخلطية، والمناعة الخلوية.
الجدول 18.6
الجهاز اللمفاوى   )LIM-foid(نظام عض
وى يتكون من الأوعية اللمفاوية، العقد اللمفاو
ية، اللوزتين، الطحال، والغدة الزعترية؛ تشمل وظا
ئفه استرداد سائل الأنسجة والمناعة.
الجسيم الحال   )LY-so-some(عضية محاطة
بغشاء تحتوى على مزيج من الإنزيمات لها أد
وار متعددة داخل الخلية وخارجها فى هضم المواد
الغريبة، الممرضات، والعضيات المنتهية ال
صلاحية.
الليزوزيم   )LY-so-zime(إنزيم يوجد فى ا
لدموع، الحليب، اللعاب، المخاط، وسوائل ا
لجسم الأخرى يدمر البكتيريا عن طريق هضم جد
ران خلاياها. ويسمى أيضاً   *muramidase*

م

جزىء كبير أى جزىء كبير الحجم و
ذو وزن جزيئى مرتفع، مثل البروتين،
الحمض النووى، متعدد السكاريد، أو ثلاثى الجليسريد.
البلعمة الكبيرة   )MAC-ro-faje(أى خلية ف
ى الجسم، غير كريات الدم البيضاء، م
تخصصة فى البلعمة؛ عادة ما تنشأ من وحيدة ا
لدم فى الدم وغالبًا ما تعمل كخلية مقدمة للمس
تضد.
البقعة   )MAC-you-luh(بقعة أو لطخة، مثل ا
لبقعة الصفراء فى الشبكية وبقعة كيس ال
سمع فى الأذن الداخلية.
خبيث   )muh-LIG-nent(متعلق بخلية
أو ورم سرطانى؛ قادر على
الانتشار)النقائل(.
خلية البدينة خلية نسيج ضام، مشابهة للقاعدية،
تفرز الهيستامين، الهيبارين، ومواد كيميائية أخر
ى تشارك فى الالتهاب؛ غالبًا ما تتركز على ط
ول مسار الشعيرات الدموية.

الأنبوب العصبى أنبوب أجوف ظهرى فى الجنين يتطور إلى الجهاز العصبى المركزى.
الشكل 14.3
العُصَيْبون أى محور عصبى أو شُجيرة عصبية فى الخلية العصبية.
الدبق العصبى)نو-روغ-لى-أه(جميع خلايا نسيج الأع صاب باستثناء الخلايا العصبية؛ خلايا تقوم بأدوار داعمة وحامية متنوعة للخلايا العصبية.

الوصل العصبى العضلى مشبك بين ليف عصبى وليف عضلى؛ يُسمى أيضًا صفيحة النهاية الحر كية. الشكل 11.7
خلية عصبية)نور-أون(خلية عصبية؛ خلية قابلة للا ستثارة كهربائيًا ومتخصصة فى إنتاج ونقل إم كانات العمل وإفراز مواد كيميائية تحفز الخلا يا المجاورة.
الببتيد العصبى ببتيد يُفرز بواسطة خلية عصبية، غا لبًا ما يعمل على تعديل تأثير الناقل العص بى؛ على سبيل المثال، الإندورفينات، الإينكى فالين، والكوليسيستوكينين. الشكل 12.22
الناقل العصبى مادة كيميائية تُفرز فى الطرف ا لبعيد للمحور العصبى تحفز خلية مجاورة؛ على سبيل المثال، الأستيل كولين، النورإ بينفرين، أو السيروتونين.
العدلة)نيو-ترو-فيل(خلية حبيبية، عادةً ذات نواة متعددة الفصوص، تعمل بشكل خا ص على تدمير البكتيريا عن طريق البلعم ة، والهضم داخل الخلايا، وإفراز مواد كيميائية قا تلة للبكتيريا.
الجدول 18.6
القاعدة النيتروجينية)ناى-تروج-إه-نوس(جز ىء عضوى يحتوى على حلقة كربون-نيتروج ين مفردة أو مزدوجة تشكل أحد اللبنات الأ ساسية لـ ATP، والنيوكليوتيدات الأخرى، والأحما ض النووية؛ أساس الشفرة الوراثية.
الشكل 4.1
النفايات النيتروجينية أى مادة تحتوى على الني تروجين تُنتج كنفايات أيضية وتُطرح فى البول؛ بشكل رئيسى الأمونيا، اليوريا، حمض اليوريك، والكرياتينين.
مستقبل الألم)نو-سى-سيب-تور(نهاية عصبية متخصصة فى اكتشاف تلف الأنسجة وإن تاج إحساس بالألم؛ مستقبل الألم.
نورإبينفرين)NE( )نور-إب-إيه-نيف-رين(كاتى كولامين يعمل كناقل عصبى وهرمون من الغدة الكظرية، خاصة فى الجهاز الع صبى الودى.
الشكل 12.22
الغلاف النووى زوج من الأغشية تغلف نواة الخلية، مع مسام بارزة تسمح بمرور الجزيئات بين السائل النووى والسيتوبلازم.
الشكل 3.27
الحمض النووى)نيو-كلاى-يك(بوليمر حمضى من النيوكليوتيدات يوجد أو يُنتج فى النواة، ويعمل فى الوراثة وتخليق البروتين؛ نوعان منه، DNA و RNA.
النيوكليوتيد)نيو-كلى-أوه-تايد(جزىء عضوى يتكون من قاعدة نيتروجينية، أحادى السكاريد، ومجموعة فوسفات؛ وهو الوحدة البنائية للحمض النووى.

خلية؛ مهمة فى توسيع الحدقة وقذف الإفرازات من أكينى الغدد.
الخيط العضلى خيط بروتينى دقيق مسؤول عن انقباض خلية العضلة. يتكون أساسًا من الميوسين أو الأكتين. الشكل 11.2
الميوغلوبين)ماى-أوه-غلو-بين(صبغة حمراء لتخز ين الأكسجين فى العضلات؛ تكمل الهيموغ لوبين فى توفير الأكسجين لعملية الأيض الهوائى فى العضلات.
الميوسين بروتين محرك يشكل الخيوط العضلية ال سميكة ويحتوى على رؤوس كروية متحركة م ن ATPase ترتبط بجزيئات الأكتين؛ ويؤدى أ يضًا وظائف انقباضية فى أنواع خلايا أخرى. الش كل 11.3

ن

نخر)neh-CRO-sis(موت نسيجى مرضى بسبب أسباب مثل العدوى، الصدمة، أو نقص الأكسجة. قارن الموت المبرمج)apoptosis(.
التغذية الراجعة السلبية آلية تصحيح ذاتى تقوم عليها معظم عمليات التوازن الداخلى)homeostasis(، حيث يتم اكتشاف تغير فى الجسم وتُفعّل استجابات تعكس التغير وتعيد الاستقرار وتحافظ على وظيفة الجسم الطبيعية.
تثبيط التغذية الراجعة السلبية آلية لتقييد إفراز هرمون منشط من الغدة النخامية. يقوم الهرمون المنشط بتحفيز غدة صماء أخرى لإفراز هرمونها الخاص، ويقوم هذا الهرمون بتثبيط المزيد من إفراز الهرمون المنشط.
حديث الولادة)NEE-oh-nate(رضيع حديث الولادة حتى عمر ٤ أسابيع.
تكون ورمى)NEE-oh-PLAY-zhuh(نمو غير طبيعى لنسيج جديد، مثل الورم، بدون وظيفة مفيدة.
نيفرون)NEF-ron(واحدة من حوالى مليون وحدة تصفية دم وإنتاج بول فى كل كلية؛ تتكون من كبيبة، كبسولة كبيبية، أنبوب ملفوف قريب، حلقة النيفرون، وأنبوب ملفوف بعى د. الشكل 23.8

عصب عضو يشبه الحبل فى الجهاز العصبى المحيطى مكون من ألياف عصبية متعددة مغلفة بنسيج ضام.
ليف عصبى محور عصبى)axon(لخلية عصبية واحدة.
نبضة عصبية موجة من إمكانات الفعل ذاتية الانتشار تنتقل على طول ليف عصبى.
نسيج عصبى نسيج مكون من خلايا عصبية وخلايا الدبق العصبى)neuroglia(.
ضغط الترشيح الصافى قوة صافية تُفضّل تر شيح السائل من شعيرة دموية أو وريد صغير ع ندما تُؤخذ جميع الضغوط الهيدروستاتيكية والتنا ضحية لدم وسوائل الأنسجة فى الاعتبار.

مجموعة عصبية مجموعة من الخلايا العصبية الم ترابطة فى الجهاز العصبى المركزى التى تؤدى وظيفة جماعية واحدة؛ على سبيل المثال، مر كز تنظيم الأوعية الدموية فى جذع الدماغ ومراكز الكلام فى قشرة المخ.

العصبون الحركى عصبون ينقل الإشارات من الجهاز العصبى المركزى إلى أى مُنفذ)خلية عضلية أو غدية(؛ ومحوره هو ليف عصبى صادر.
البروتين الحركى أى بروتين يُنتج حركات للخلية أو مكوناتها بسبب قدرته على الخضوع لتغيرات متكررة وسريعة فى التكوين والارتباط العكسى مع جزيئات أخرى؛ مثل الميوسين، الدينين، والكينيسين.
الوحدة الحركية عصبون حركى واحد وجميع ألياف العضلات الهيكلية التى يعصبها.
الغشاء المخاطى)ميو-كو-سا(طبقة نسيجية تُشكل البطانة الداخلية لمسار تشريحى مفتوح إلى الخارج)المسالك التنفسية، الهضمية، البولية، والتناسلية(. تتكون من الظهارة، النسيج الضام)الطبقة الخاصة(، وغالبًا العضلات الملساء)العضلة المخاطية المخاطية(. الشكل 5.33أ
الغشاء المخاطى انظر *الغشاء المخاطى*.
متعدد القدرات يتعلق بخلايا جذعية لديها القدر ة على التطور إلى نوعين أو أكثر من الخلايا ا لمتمايزة والوظيفية بالكامل، ولكن ليس إلى مجموعة غير محدودة من أنواع الخلايا.

ليف عضلى خلية عضلية هيكلية واحدة؛ ليف عضلى.
توتر العضلات حالة من الانقباض الجزئى المستمر لع ضلات الهيكل العظمى أو العضلات الملساء فى حا لة الراحة.
الجهاز العضلى نظام عضوى يتكون من العضلات الهيكلية، المتخصصة بشكل رئيسى فى الحفاظ على الدعم الوضعى وإنتاج حركات العظام.
العضلة الخارجية الجدار العضلى الخارجى لبعض الأحشاء مثل المرىء و الأمعاء الدقيقة. الشكل 25.2
العضلة المخاطية (MUSK-you-LERR-iss mew-CO-see(طبقة من العضلات الملساء تقع مباشرة تحت الصفيحة الخاصة للمخاطية. الشكل 5.33a
المُحَوِّر)MEW-tuh-jen(أى عامل يسبب طفرة، بما فى ذلك الفيروسات والمواد الكيميائية و الإشعاع المؤين.
الطفرة أى تغيير فى بنية الكروموسوم أو جزىء الحمض النووى)DNA(، غالبًا ما يؤدى إلى تغيير فى بنية أو وظيفة الكائن الحى.
الميالين)MY-eh-lin(غلاف دهنى حول ليف عصبى، يتكون من طبقات لولبية متقاربة من غشاء البلازما لخلايا شوان أو الخلايا قليلة التغصن. الشكل 12.8
فجوة غمد الميالين مقطع قصير غير مغطى بالميالين بين خلايا شوان فى ليف ع صبى مغطى بالميالين؛ موقع توليد جهد الفعل أ ثناء التوصيل القفزى؛ ويُسمى أيضًا *عقدة ران فييه*. الشكل 12.4
عضلة القلب)MY-oh-CAR-dee-um(الطبقة العضلية الوسطى للقلب.
خلية عضلية ظهارية خلية ظهارية أصبحت متخصصة فى الانقباض مثل العضلة.

مقتصرة على الجوار المباشر للخلايا التى تفرزها؛ تُسمى أحيانًا *هرمونًا محليًا*
هرمونًا محليًا. **2.** متعلق بهذا النوع من الإفراز، على عكس *الغدد الصماء*.
الجهاز العصبى اللاودى (PERR-uh-SIM-pa-TH ET-ic) قسم من الجهاز العصبى الذاتى يصدر أليافًا صادرة عبر الأعصاب القحفية والعجزية ويُحدث تأثيرات كولينية على أعضائه المستهدفة.
هرمون جارات الدرقية (PTH) هرمون تفرزه غدد جارات الدرقية يرفع تركيز الكالسيوم فى الدم عن طريق تحفيز امتصاص العظم بواسطة الخلايا الهادمة للعظم (أوستيوكلاست)، وتعزيز امتصاص الكالسيوم فى الأمعاء، ومنع إفراز الكالسيوم فى البول.
النسيج البرانشيمى (pa-REN-kih-muh) النسيج الذى يؤدى الوظائف الفسيولوجية الرئيسية لعضو ما، خاصة الغدة، على عكس الأنسجة (الستروما) التى توفر الدعم الهيكلى بشكل رئيسى.

جدارى (pa-RY-eh-tul) **1.** متعلق بجدار، كما فى خلايا جدار المعدة وعظم الجدار فى الجمجمة. **2.** متعلق بالطبقة الخارجية أو السطحية أكثر من غشاء مكون من طبقتين مثل الجنبة، التامور، أو كبسولة الكبيبة. قارن مع الحشوى. الشكل A.6

ممرض أى كائن دقيق مسبب للمرض.
القُصَيْبُون (PED-ih-cul) عملية صغيرة تشبه القدم، كما فى الفقرات والخلايا الكلوية (بودوسايتس)؛ وتُسمى أيضًا *القُصَيْبُون الصغير*.
التجويف الحوضى المساحة المحاطة بالحوض الحقيقى (الصغير)، والتى تحتوى على المثانة البولية، المستقيم، والأعضاء التناسلية الداخلية.
الحوض هيكل يشبه الحوض مثل حزام الحوض للهيكل العظمى أو مساحة جمع البول بالقرب من الهيلوم فى الكلية. الأشكال 8.36، 23.4
ببتيد أى سلسلة مكونة من حمضين أمينيين أو أكثر. *انظر أيضًا* بولى ببتيد، بروتين.
رابطة ببتيد مجموعة مكونة من أربعة ذرات مرتبطة تساهميًا (مجموعة —C= O مرتبطة بمجموعة —NH) تربط بين حمضين أمينيين فى بروتين أو ببتيد آخر. الشكل 2.23ب
التروية كمية الدم التى تُزود بها كتلة معينة من النسيج خلال فترة زمنية محددة (مثل مل/ع/دقيقة).
الغشاء المحيط بالغضروف (PERR-ih-CON-dree-um) طبقة من النسيج الضام الليفى تغطى سطح الغضروف الزجاجى أو المرن.
العجان (PERR-ih-NEE-um) المنطقة بين الفخذين المحاطة بالعصعص، العانة التماس العانى، والنواتئ الإسكية؛ تحتوى على فتحات الجهاز البولى، التناسلى، والهضمى. الأشكال 27.6، 28.8
الغشاء المحيط بالعظم (PERR-ee-OSS-tee-um) طبقة من النسيج الضام الليفى تغطى سطح العظم. الشكل 7.1
الجهاز العصبى المحيطى (PNS) قسم من الجهاز العصبى يتكون من جميع الأعصاب والعقد العصبية؛ كل الجهاز العصبى ما عدا الجهاز العصبى المركزى.

الانتشار التناضحى (oz-MO-sis) التدفق الصافى للماء عبر غشاء نصف نافذ، ينتج عن فرق تركيز كيميائى أو قوة ميكانيكية عبر الغشاء.
الضغط التناضحى مقدار الضغط الذى يجب تطبيقه على جانب واحد من غشاء نصف نافذ لإيقاف الانتشار التناضحى؛ يتناسب مع تركيز المواد المذابة غير النافذة على ذلك الجانب وبالتالى يعمل كمؤشر لتركيز المادة المذابة.
عظمى (OSS-ee-us) متعلق بالعظم.
تَحَجُّر العظم (OSS-ih-fih-CAY-shun) تكوين العظم.
خلية بانية للعظم خلية مكونة للعظم تنشأ من خلية منشأ العظم، تفرز مصفوفة العظم، وتتحول فى النهاية إلى خلية عظمية.
خلية هاضمة للعظم بَلْعِمَة على سطح العظم تذيب المصفوفة وتعيد المعادن إلى السائل خارج الخلوى.
خلية عظمية خلية عظمية ناضجة تتكون عندما تحيط الخلية البانية للعظم بمصفوفاتها الخاصة وتُحبس فى فجوة (لاكونا).
الوحدة العظمية وحدة هيكلية من العظم المضغوط تتكون من قناة مركزية محاطة بطبقات متحدة المركز من المصفوفة. الشكل 7.4
هشاشة العظام (OSS-tee-oh-pore-OH-sis) مرض تنكسى فى العظم يتميز بفقدان كتلة العظم، مما يزيد من القابلية لحدوث كسور عفوية، وأحيانًا تشوه العمود الفقرى؛ الأسباب تشمل التقدم فى العمر، نقص إفراز الإستروجين، وقلة ممارسة تمارين المقاومة.
الإباضة (OV-you-LAY-shun) إطلاق بويضة ناضجة بانفجار جريب المبيض.

البويضة أى مرحلة من مراحل الأمشاج الأنثوية من البويضة الأولية حتى الإخصاب؛ بويضة أولية أو ثانوية؛ بيضة.
الأكسدة تفاعل كيميائى يتم فيه إزالة إلكترون واحد أو أكثر من جزىء، مما يقلل من محتوى طاقته الحرة؛ عكس الاختزال ومرتبط دائمًا بتفاعل اختزالى.

P

جزر البنكرياس (PAN-cree-AT-ic EYE-let) مجموعة صغيرة من الخلايا الصماء فى البنكرياس تفرز الإنسولين، الجلوكاجون، السوماتوستاتين، ورسائل خلوية أخرى؛ وتسمى أيضًا جزر لانجرهانس. الشكل 17.12
الحلمة (pa-PILL-uh) هيكل مخروطى أو شبه الحلمة، مثل الحلمة اللسانية على اللسان أو حلمة بصيلة الشعر.
حلمى (PAP-ih-lerr-ee) **1.** متعلق أو على شكل حلمة، مثل عضلات القلب الحلمية. **2.** يحتوى على حليمات، مثل الطبقة الحلمية للأدمة.

الباراكرين (PAIR-uh-crin) **1.** رسول كيميائى مشابه للهرمون تؤثر تأثيراته

النواة (NEW-clee-us) **1.** عضية خلوية تحتوى على الحمض النووى (DNA) ومحاطة بغشاء مزدوج. **2.** مجموعة أو شبكة من خلايا الجهاز العصبى المركزى مخصصة لوظيفة معينة مثل تنظيم الحرارة أو السمع. **3.** النواة الموجبة الشحنة للذرة، وتتكون من البروتونات والنيوترونات. **4.** هيكل مركزى، مثل النواة اللبية للقرص بين الفقرى.
القرص بين الفقرى.
خلية ممرضة خلية داعمة فى الأنابيب المنوية لخصيتى الخصيتين، تعمل على احتضان وحماية الخلايا الجرثومية النامية وتعزيز إنتاج الحيوانات المنوية؛ وتسمى أيضًا *خلية سيرتولى؛ خلية داعمة*.

O

الشعور بالرائحة (ole-FAC-shun) حاسة الشم.
الضغط الأونكوتى (on-COT-ic) الفرق بين الضغط الاسموزى الغروانى للدم وذاك الخاص بسائل النسيج، وعادةً ما يفضل امتصاص السائل بواسطة الشعيرات الدموية الدموية. *قارن* الضغط الاسموزى الغروانى.
البويصنة (OH-oh-site) فى تطور خلية البيصنة، أى مرحلة أحادية العدد بين الانقسام الاختزالى الأول والتخصيب.
تكوين البويضات (OH-oh-JEN-eh-sis) إنتاج خلية بيضة قابلة للتخصيب من خلال سلسلة من الانقسامات الخلوية الانقسامية والاختزالية؛ تكوين الأمشاج الأنثوية.
المقابلة حركة الإبهام التى يقترب فيها أو يلمس أى طرف إصبع من نفس اليد.

الحجاج تجويف العين فى الجمجمة.
العضو أى تركيب تشريحى يتكون من نوعين مختلفين على الأقل من الأنسجة، وله حدود هيكلية واضحة، ووظيفة مميزة تختلف عن التركيبات المحيطة به. العديد من الأعضاء مجهرية والعديد منها يحتوى على أعضاء أصغر، مثل الجلد الذى يحتوى على العديد من الأعضاء الحسية المجهرية.

العُضيّة أى تركيب داخل الخلية يؤدى أحد أدوارها الأيضية، مثل الميتوكوندريا، المريكزات، الشبكة الإندوبلازمية، والنواة؛ هيكل داخل الخلية غير الهيكل الخلوى والاحتباسات.
الأصل تقليديًا، هو التثبيت النسبى الثابت لعضلة هيكلية على عظم أو هيكل آخر. هذا المصطلح يتم التخلى عنه الآن من قبل السلطات فى علم التشريح البشرى.*قارن* الإدخال.
الأسمولالية (OZ-mo-LAL-ih-tee) تركيز المولات للجسيمات المذابة فى 1 كجم من الماء.

الأسمولارية (OZ-mo-LERR-ih-tee) تركيز المولات للجسيمات المذابة فى 1 لتر من المحلول.
مستقبل الأسمولالية (OZ-mo-re-SEP-tur) عصبون فى الوطاء يستجيب للتغيرات فى الأسمولارية للسائل خارج الخلية.

التدوير)pro-NAY-shun(حركة دورانية للساعد تدير راحة اليد للأسفل أو للخلف. السْكل 9.18

الإدراك الحسى الذاتىPRO-pree-oh-SEP-sh)un(الإدراك غير البصرى، وعادة ما يكون لاواعيًا، لموضع وحركات الجسم، الناتج عن مدخلات من مستقبلات الإدراك الحسى الذاتى وجهاز الدهليز فى الأذن الداخلية.

مستقبل الإدراك الحسى الذاتى-PRO-pree-oh)SEP-tur(مستقبل حسى فى العضلات وا لأوتار وأغلفة المفاصل يكتشف انقباضات العضلات و حركات المفاصل.

البروستاجلاندين)PROSS-ta-GLAN-din(إى يكوسانويد يحتوى على حلقة كربونية خماسية الأ ضلاع فى وسط سلسلة هيدروكربونية، يلع ب أدوارًا متنوعة فى الالتهاب، النقل العصبى، حركة الأوعية الدموية، التكاثر، والتمثيل الغذائى. الشكل 2.21

البروستاتا)بروس-تات(غدة تناسلية ذكرية تح يط بالإحليل مباشرةً أسفل المثانة وتساهم فى السائل المنوى.)تجنب النطق الخاطئ "مُسْتَلِق."(الشكل 27.10

بروتين هو بولى ببتيد كبير؛ بينما معايير البروتين تعتبر إلى حد ما ذاتية ومتغيرة، عادةً ما تُصنف البولى ببتيدات التى تزيد عن ٥٠ حمضًا أمينيًا كالبروتينات.

بروتيوغليكان)برو-تى-أوه-جلى-كان(جزىء كبير مكون من شعيرات شبيهة بالفرشاة ترتيب الجليكوزأمينوجليكانات حول نواة بروتينية فى شكل يشبه فرشاة الزجاجة. يربط الخلايا بالمواد خارج الخلية ويمنح السائل النسيجى قوامًا هلاميًا.

قريب قريب نسبيًا من نقطة الأصل أو الارتباط؛ على سبيل المثال، الكتف قريب من المرفق. *قارن* بالبعيد.

الزوائد الكاذبة)SOO-doe-pod(امتداد م ؤقت للسيتوبلازم فى الخلية يُستخدم للحر كة)الحركة الأميبية(والبلعمة.

الطهارة العمودية الكاذبةنوع من الطهارة يحتوى على خلايا عمودية طويلة تصل إلى السطح الحر وخلا يا قاعدية أقصر لا تصل إلى السطح، ولكن جم يع الخلايا تستند على الغشاء القاعدى؛ مما يخ لق مظهرًا زائفًا للتعدد الطبقى. الشكل 5 .7الدورة الرئويةمسار تدفق الدم الذ ى يزود الحويصلات الهوائية الرئوية بالدم لتبادل ا لغازات ثم يعيده إلى القلب؛ جميع الأوعية الد موية بين البطين الأيمن والأذين الأيسر للقلب.

مُحرِّض الحمى)باى-رو-جين(عامل يسبب الحمى.

ر

ramus)RAY-mus(فرع تشريحى، كما فى ا لعصب أو فى العانة.

مستقبل .1 خلية أو عضو متخصص فى اكتشاف منبه، مثل خلية التذوق أو العين. **.2** جزىء بروتين ى يرتبط ويستجيب لـ

plexus شبكة من الأوعية الدموية، أو الأوعية اللمفاو ية، أو الأعصاب، مثل الضفيرة المشيمية فى الدماغ أو الضفيرة العضدية للأعصاب.

pluripotentيتعلق بخلايا جذعية من كتلة الخلايا الدا خلية للجنين المبكر)blastocyst(قادرة على ا لتطور إلى أى نوع من الخلايا الجنينية، ولكن لي س إلى خلايا الأعضاء الملحقة بالحمل.

polymerجزىء يتكون من سلسلة طويلة من وحدات فرعية متطابقة أو متشابهة، مثل البروتين، DNA، والنشا.

polypeptide أى سلسلة تحتوى على أكثر من 10 أو 15 حم ضًا أمينيًا. *انظر أيضًا* البروتين.

polysaccharide)POL-ee-SAC-uh-ride(بولى مر من السكريات البسيطة؛ على سبيل المثال، ا لجليكوجين، النشا، والسليلوز. الشكل 2.17poly

uria)POL-ee-YOU-ree-uh(زيادة مفرطة فى إخراج ا لبول.

popliteal)pop-LIT-ee-ul(يتعلق بال جانب الخلفى من الركبة.

التصوير المقطعى بالإصدار البوزيترونى)PET(أ طريقة إنتاج صورة محوسبة للحالة الفسيولوج ية للنسيج باستخدام نظائر مشعة محقونة تصدر بوزيترونات.

خلفى قريب أو متعلق بالجانب الخلفى أو العمود الفقرى للجسم؛ ظهرى.

الجذر الخلفى هو فرع من أعصاب الحبل الشوكى يد خل الجانب الخلفى من الحبل الشوكى ويحمل أل ياف عصبية واردة)حسية(؛ وغالبًا ما يُسمى *ال جذر الظهرى*. الشكل 13.2ب

بعد العقدة (POST-gang-glee-ON-ic) يتعلق بعصبون ينقل الإشارات من عقدة إلى عضو هدف أبعد.

بعد المشبكى)POST-sih-NAP-tic(يتعلق بع صبون أو خلية أخرى تستقبل الإشارات من ا لعصبون قبل المشبكى عند المشبك. الشكل 12.19

جهد كهربائى فرق فى الشحنة الكهربائية من نقطة إلى أخرى، خاصة على الجانبين المتقابلين لغشاء البلازما؛ يُقاس عادة بالملى فولت.

المرحلة السابقة للجنين فرد فى طور النمو من و قت الإخصاب حتى الوقت، عند 16 يومًا، عن دما تتكون الطبقات الجرثومية الثلاثة الأولى ة. *قارن* المفهوم، الجنين، الجنين النامى.

قبل العقدى (PRE-gang-glee-ON-ic) يتعلق بعصبون ينقل الإشارات من الجهاز العصبى المركزى إلى العقدة العصبية.

قبل المشبكى)PRE-sih-NAP-tic(يتعلق بعص بون ينقل الإشارات إلى المشبك العصبى. الشكل 12.19

الطبقات الجرثومية الأولية الأديم الظاهر، الأديم المتوسط، والأديم الباطن؛ الطبقات النسيجية الثلاث لجنين مبكر تنشأ منها جميع الأنسجة والأعضاء لاحقًا.

العامل الأساسى العضلة التى تولد أكبر قوة فى حركة مفصل معينة؛ العضلة الفاعلة.

موت الخلايا المبرمج *انظر* الاستماتة)apoptosis(.

البرولاكتين)PRL(هرمون يفرزه الغدة النخامية الأمامية يحفز الغدد الثديية على إفراز الحليب.

البروتين المحيطى بروتين فى غشاء البلازما يلتصق بسطحه الداخلى أو الخارجى لكنه لا يخترق طبقة الفسفوليبيد الثنائية.

الحركة الدودية)PERR-ih-STAL-sis(موجة من التضيق تنتقل على طول عضو أنبوبى مثل المرىء أو الحالب، وتعمل على دفع محتوياته.

الصفاق)PERR-ih-toe-NEE-um(غشاء مص لى يبطن تجويف الصفاق فى البطن ويغطى ا لمساريق والأحشاء.

حول الأوعية (PERR-ih-VASS-cue-lur) يتعلق بالمنطقة المحيطة بالوعاء الدموى.

البلعمة)FAG-oh-sy-TOE-sis(شكل من الابتلاع الخلوى حيث تحيط الخلية بجسيم غريب بأقدام كاذبة وتبتلعه، محبوسًا فى حويصلة سيتوبلازمية تسمى البلعمة)phagosome(.

العظم السلامى)FAY-lanks(الجمع، *السلاميات*(أى من العظام فى الأصابع أو أصابع القدم؛ يوجد اثنان فى الإبهام وأصبع القدم الكبير وثلاثة فى كل من الأصابع الأخرى.

البلعوم)FAIR-inks, FAR-inks(ممر عضلى فى الحلق حيث يتقاطع الجهاز التنفسى والجهاز الهضمى.

الفوسفوليبيد جزىء أمفيباثى يتكون من ح مضين دهنيين ومجموعة تحتوى على الفوسفا ت مرتبطة بثلاث ذرات كربون فى جزىء الجلسر ين؛ يشكل معظم جزيئات غشاء البلازما والأغش ية الخلوية الأخرى.

الفسفرة إضافة مجموعة فوسفات غير عضو ية)Pi(إلى جزىء عضوى.

piloerector *انظر* arrector.

الابتلاع الخلوى السائل)PIN-oh-sy-TOE-sis(هو شكل من أشكال الابتلاع الخلوى حيث تغوص غشاء البلازما إلى الداخل وتمتص قطرات من السائل خارج الخلوى.

بطنى)PLAN-tur(يتعلق بنعل القدم.

لوحة مقياس صغير أو صفيحة من المادة، مثل لوحة الأسنان، اللويحات الدهنية لـ تصلب الشرايين، واللويحات الأميلويدية فى مرض الزهايمر.

البلازما الجزء غير الخلوى من الدم؛ مصفوفته السائ لة، التى تشكل عادةً أكثر من نصف حجمه بقليل.

الغشاء البلازمى الغشاء الذى يحيط بالخلية ويتحكم فى حركة الجزيئات داخل وخارج الخلية. الشكل 3.5

الصفائح الدمويةعنصر مكون من مكونات الدم م شتق من خلية كبيرة النوى)ميجاكاريوسيت(، م عروفة بشكل خاص بدورها فى إيقاف ا لنزيف، ولكن لها أدوار إضافية فى إذابة جل طات الدم، وتحفيز الالتهاب، وتعزيز نمو الأن سجة وصيانة الأوعية الدموية، وتدمير البكتير يا.

غشاء الجنبة)PLOOR-uh(غشاء مزدوج الجد ران مصلّى يُحيط بكل رئة.

مكان الضوء لتشكيل صور ثلاثية الأبعاد عالية ا
لدقة لأسطح الأجسام؛ قادر على تكبيرات أعلى
بكثير من المجهر الضوئي.

التصلب (scleh-RO-sis) تصلب أو تيبس
نسيج، كما في التصلب المتعدد للجهاز الع
صبي المركزي أو تصلب الشرايين للأوعية الدم
وية.

الزهم (SEE-bum) إفراز زيتي من الغدد ا
لدهنية يحافظ على ليونة الجلد والشعر.

النقل النشط الثانوي آلية يتم فيها نقل المذاب
عبر غشاء البلازما بواسطة ناقل لا يستخدم A
TP بنفسه ولكنه يعتمد على تدرج
تركيز تم إنشاؤه بواسطة مضخة نقل نشطة في
مكان آخر داخل الخلية.

الرسول الثاني مادة كيميائية تُنتج داخل الخلية (م
ثل cAMP) أو تدخل إلى الخلية (مثل أيونات ال
كالسيوم) استجابة لارتباط رسول بمستقبل غ
شائي، وتُحفز تفاعلًا أيضيًا داخل الخلية.

الإفراز 1. مادة كيميائية تُفرزها الخلية لأداء
وظيفة فسيولوجية، مثل هرمون أو إنزيم ه
ضمي. 2. عملية إطلاق مثل هذه المادة الكيميا
ئية، غالبًا بواسطة
الإفراز الخلوي (exocytosis). قارن مع الإخراج (excretion).

الغشاء نصف النفاذ غشاء
يسمح بمرور بعض المواد
بينما يمنع مرور أخرى؛ على سبيل المثال،
غشاء البلازما وأغشية الغسيل الكلوي (dialysis membranes).

القنوات نصف الدائرية ثلاث أنابيب على شكل
حلقات، مملوءة بالسائل في الأذن الداخلية تكش
ف عن التسارعات الزاوية لرأس؛ كل واحدة محا
طة بممر عظمي يسمى القناة نصف الدائرية.
الشكل 16.21

الصمام الهلالي صمام يتكون من أهداب ع
لى شكل هلال، بما في ذلك صمامات الأبهر
والرئة في القلب وصمامات الأوردة والأوعية اللم
فاوية. الشكل 19.8

الغشاء نصف النفاذ *انظر* الغشاء
نصف النفاذ (selectively permeable membrane).

الشيخوخة (seh-NESS-ense) التغيرات التنكسية
التي تحدث مع التقدم في العمر.

الإحساس الإدراك الواعي لمحفز؛
الألم، والطعم، واللون، على سبيل المثال، ليست
محفزات بحد ذاتها بل إحساسات ناتجة عن المحفزات.

ليف العصب الحسي محور عصبي ينقل
المعلومات من مستقبل إلى الجهاز العصبي المركزي؛
ليف عصبي وارد (afferent nerve fiber).

السيروزا (seer-OH-sa) غشاء طلائي رقيق
يتكون من طلائية حرشفية بسيطة
تغطي طبقة رقيقة من النسيج الضام الرخو؛ يغطي
الأسطح الخارجية للأحشاء مثل
الرئتين، والمعدة، والأمعاء، ويشكل
أغشية مثل الصفاق (peritoneum)، الجنبة (pleura)،
والغشاء التاموري (pericardium)، أو جزءًا من هذه
الأغشية. يُسمى أيضًا *الغشاء المصلي* (serous membrane).

السائل المصلي (SEER-us) سائل مائي منخفض البروتين
يشبه مصل الدم، يتكون كـ

خلية شبكية (ريتيكيولار) خلية دقيقة متفرعة
بلعومية توجد في النسيج الضام الشبكي
للأعضاء اللمفاوية.

ليف شبكي ليف كولاجيني دقيق ومتفرع مغطى
بالجليكوبروتين، يوجد في الدعامة للأعضاء اللم
فاوية وبعض الأنسجة والأعضاء الأخرى.

نسيج شبكي نسيج ضام يتكون من خلايا شبكية وأل
ياف شبكية، يوجد في نخاع العظم، والأعضاء
اللمفاوية، وبكميات أقل في أماكن أخرى.

ريبوسوم حبيبة توجد حرة في السيتوبلازم أو مرتبطة
بالشبكة الإندوبلازمية الخشنة
أو الغلاف النووي، تتكون من RNA الريبوسوم
ي وإنزيمات؛ متخصصة في قراءة تسلسل النو
كليوتيدات للـ RNA الرسول وتجميع تسلسل
مكافئ من الأحماض الأمينية لصنع بروتين.

عامل خطر أي عامل بيئي أو سمة فردية
تزيد من فرصة الإصابة بمرض معين؛ يشمل ع
وامل داخلية مثل العمر، الجنس، والعرق،
وعوامل خارجية مثل النظام الغذائي، التدخين، و
المهنة.

روسترال قريب نسبياً من الجبهة، خاصة
في الإشارة إلى تراكيب الدماغ والحبل الشو
كي؛ على سبيل المثال، الفص الجبهي يقع روس
تراليا بالنسبة للفص الجداري. *قارن مع كاودا
ل.*

طية (روو-غا) (الجمع *طيات*، روو-جي) 1. طية أو
تجعد داخلية في مخاطية عضو أجوف مثل ا
لمعدة والمثانة البولية؛ تكون عادةً موجودة عندما
يكون العضو فارغاً ومسترخياً ولكن ليست مو
جودة عندما يكون العضو ممتلئاً وممتداً. 2. نتو
ءات نسيجية في أماكن مثل الحنك الصلب
والمهبل.
الشكل 25.12

S

الكيس (SAC-yule) مستقبل على شك
ل كيس في الأذن الداخلية مع رقعة رأسية من خ
لايا الشعر، الماكولا ساكولي؛ يستشعر اتجاه الرأ
س ويستجيب للتسارع الرأسي، كما عند ركوب ا
لمصعد أو الوقوف.
الشكل 16.20

المستوى السهمي (SADJ-ih-tul) أي مستو
ى يمتد من الأمام إلى الخلف ومن الرأ
س إلى الذيل ويقسم الجسم إلى أجزاء يمينية
ويسارية. *قارن المستوى المتوسط.*

الساركومير (SAR-co-meer) في العضل
ات الهيكلية والقلبية، الجزء من الميوفيبريل
بين قرص Z وآخر، ويشكل وحدة انقباضية واح
دة. الشكل 11.5

الشبكة الساركوبلازمية (SR) الشبكة الإندوبلاز
مية الملساء في خلية العضلة، وتعمل كم
خزن للكالسيوم. الشكل 11.2

المجهر الإل
كتروني الماسح (SEM) مجهر يستخدم شعا
ع إلكتروني في

مادة كيميائية مثل هرمون، ناقل عصبي، أو جزي
ء رائحة.

الابتلاع الخلوي المُوجه بالمستقبل عملية ترتبط
فيها جزيئات معينة في السائل خارج الخلية بم
ستقبلات في غشاء البلازما، حيث تتح
مع هذه المستقبلات معًا، وينغمس الغشاء إلى ا
لداخل عند تلك النقطة، وتُدمج الجزيئات في حو
يصلات داخل السيتوبلازم. الشكل 3.21

جهد المستقبل تغير محلي ومتغير في جهد الغ
شاء ينتجه منبه يؤثر على خلية مستقبل؛ يول
د جهد فعل إذا وصل إلى العتبة.

متنحي 1. يتعلق بأليل جيني لا يُعبّر عنه ظاهريًا
في وجود أليل سائد. 2. يتعلق بصفة ناتجة عن أ
ليل متنحي.

الاختزال 1. تفاعل كيميائي يتم فيه إضافة إلك
ترون واحد أو أكثر إلى جزيء، مما يزيد من مح
توى طاقته الحرة؛ وهو عكس الأكسدة
الأكسدة وترتبط دائمًا بتفاعل أكسدة. 2. علاج ا
لكسر عن طريق إعادة الأجزاء المكسورة
من العظم إلى محاذاتها الصحيحة.

الانعكاس استجابة نمطية، تلقائية، لا إرادية لم
ثير؛ تشمل الانعكاسات الجسدية، حيث
تكون المؤثرات عضلات هيكلية، والانعكاسا
ت الحشوية (الذاتية)، حيث تكون المؤثرات عادة
عضلات حشوية، عضلة قلب، أو غدد.

قوس الانعكاس مسار عصبي بسيط يتوسط ا
لانعكاس؛ يشمل مستقبلًا، ليفًا عصبيًا واردًا،
غالبًا واحدًا أو أكثر من الخلايا العصبية البين
ية، ليفًا عصبيًا صادرًا، ومؤثرًا.

فترة الامتناع 1. فترة زمنية بعد استجابة
عصب أو خلية عضلية لمثير لا يمكن خلا
لها إعادة تنشيطها بواسطة مثير عتبة. 2. فترة زم
نية بعد النشوة الجنسية لدى الذكر لا يمكن خلا
لها استعادة الانتصاب أو القذف.

التجدد استبدال الأنسجة التالفة بأنسجة جديدة م
ن النوع الأصلي. *قارن مع التليف.*

الرينين (REE-nin) إنزيم تفرزه الكلى ا
ستجابة لانخفاض ضغط الدم؛ يحول بروتين ال
بلازما أنجيوتنسينوجين إلى أنجيوتنسين
I، مما يؤدي بشكل غير مباشر إلى ار
تفاع ضغط الدم.

إعادة الاستقطاب استعادة جهد الغشاء الراحة
بعد أن تكون خلية عصبية أو عضلية قد أُزيل ا
ستقطابها.

بقايا أي من الأحماض الأمينية في البروتين أو البب
تيد الآخر.

المقاومة 1. قوة تعارض تدفق سائل مثل الهوا
ء أو الدم. 2. قوة أو حمل يعارض عمل عضلة أ
و رافعة.

جهد الغشاء الساكن (RMP) جهد مستقر عبر غشاء
البلازما لخلية عصبية أو عضلية غير محفزة.

المثيرعامل كيميائى أو فيزيائى فى محيط الخلية قاد ر على إحداث استجابة فسيولوجية فى الخل ية؛ خاصة العوامل التى تكتشفها الخلايا الحسى ة، مثل المواد الكيميائية، الضوء، والضغط.

الإجهادالمدى الذى يتشوه فيه جسم مثل العظم عند تعرضه للإجهاد.
*قارن*الإجهاد.

الطهارة متعددة الطبقاتنوع من الطهارة حيث ت ستند بعض الخلايا فوق خلايا أخرى بدلاً من أن ت ستند على الغشاء القاعدى؛ يشمل أنواع الط هارة الحرشفية متعددة الطبقات، المكعبة، العمو دية، والطهارة البولية. الشكل 5.3

الإجهاد 1. قوة ميكانيكية تُطبّق على أى جزء من الج سم؛ مهمة فى تحفيز نمو العظام، على سبيل المثال. *قارن* الإجهاد. 2. حالة يكون فيها أى عامل بيئى التأثير يزعج التوازن الداخلى للجسم ويحفز استجا بة فسيولوجية، خاصةً تشمل زيادة إفراز بع ض هرمونات الغدة الكظرية.

حجم الضربة حجم الدم الذى يضخه بطين واحد من القلب فى انقباضة واحدة.

الستروما الإطار النسيجى الضام للغدة أو العضو ا للمفاوى أو بعض الأحشاء الأخرى، على ع كس النسيج)البرنشيم(الذى يؤدى الوظائف الف سيولوجية للعضو.

تحت الجلد)SUB-cue-TAY-nee-us(تحت الجلد.

ركيزة 1. مادة كيميائية يتفاعل معها الإنزيم و يتغير بفعلها. 2. مادة كيميائية تُستخدم كمصدر ل لطاقة، مثل الجلوكوز والأحماض الدهنية.

تخصص الركيزة قدرة الإنزيم على الارتباط بركيزة واح دة فقط أو بمجموعة محدودة من الركائز ذات ا لصلة.

التجويف)SUL-cuss(أخدود فى سطح عضو، كما فى المخ أو القلب.

الجمع 1. ظاهرة تتحد فيها مؤثرات متعددة لتؤثر على خلية واحدة لإنتاج استجابة؛ تُرى بشكل خاص فى الخلايا العصبية وعضلا ت. 2. ظاهرة تحدث عندما تتكرر تقلصات ع ضلية متعددة بشكل متقارب بحيث لا يمكن لليف العضلى أن يسترخى تمامًا بين التقل صات ولكنه يطور توترًا أكبر مما ينتجه تقل ص واحد.
الشكل 11.15

سطحى قريب نسبيًا من السطح؛ عكس عميق. على سبيل المثال، الأضلاع سطحية بالنسبة للرئتين.

أعلى أعلى من هيكل أو نقطة مرجعية أخرى من م نظور الوضع التشريحى؛ على سبيل المثال، الرئتان تقعان فوق الحجاب الحاجز.

التدوير)SOO-pih-NAY-shun(حركة دورانية للساعد تُحوّل راحة اليد لتواجه للأعلى أو للأمام. الشكل 9.18

عامل خافض للتوتر السطحى)sur-FAC-tent(مادة كيميائية تقلل من توتر سطح الماء و تُمكّنه من اختراق مواد أخرى بشكل أفضل

الجهاز العصبى الجسدى قسم من الجهاز الع صبى يشمل الألياف الصادرة بشكل ر ئيسى من الجلد والعضلات والهيكل العظم ى والألياف الواردة إلى العضلات الهيكلية. *قارن* الجهاز العصبى الذاتى.

الحسى الجسدى 1. متعلق بالتوزيع الواسع *الحواس العامة* فى الجلد والعضلات والأوتار وأغلفة المفاصل والأحشاء، على عكس *الحواس الخاصة* الموجودة فى الرأس فقط؛ وتسمى أيضًا *الحسية الجسدية* . 2. تتعلق بالقشرة الدماغية للتلفيف بعد المركزى، الذى يستقبل الإشارات من مثل هذه المستقبلات.

السميت قطعة واحدة فى سلسلة خطية من كتل الميزوديرم التى تتشكل على كل جانب من أنبوب الأعصاب وتعطى نشوء عضلات الجذع، الفقرات، والأدمة. الشكل 29.7

تكوين الحيوانات المنوية (SPUR-ma-toe-JEN-eh-sis) إنتاج خلايا الحيوانات المنوية من خلال سلسلة من الانقسامات الخلوية الانقسامية والانقسام الاختزالى؛ تكوين الأمشاج الذكرية.

الحيوان المنوى)spur-MAT-oh-ZO-on(خلية م نوية.

المصرة)SFINK-tur(حلقة من العضلات تفتح أو تغلق فتحة أو ممرًا؛ توجد، على سبيل المثال، فى الجفون، حول فتحة البول، وعند بدا ية الشعيرات الدموية.

العصب الشوكى أى من أزواج الأعصاب الثلاثة والثلاثين التى تنشأ من الحبل الشوكى وتمر عبر الثقوب بين الفقرات أو عبر الفجوة بين العمود الفقرى والجمجمة.

المغزل 1. هيكل ممدود سميك فى الوسط ومدبب عند الأطراف)شبيه بالورقة(. 2. مجمع على شكل كرة القدم من الأنابيب الدقيقة التى توجه حركة الكروموسومات فى الانقسام الخيطى و الانقسام الاختزالى. الشكل 4.15 3. مستقبل للتمد د فى عضلات الهيكل العظمى. الشكل 13.24

العمود الفقرى 1. نتوء مدبب أو حافة حادة على عظم، مثل النتوء النخاعى فى الجمجم ة والعمود الفقرى للكتف. 2. العمود الفقرى.

سبلانكنيك)SPLANK-nic(يتعلق بالجهاز الهضمى.

مربّع (SKWAY-mus) 1. رقيق ومسطح. 2. شكل خلوى مسطح أو متقشر؛ يخص بشكل خاص فئة من الخلايا الطلائية. الأشكال 5.4، 5.12

خلية جذعيةأى خلية غير متمايزة يمكنها الانق سام والتمايز إلى أنواع خلايا أكثر تخصصًا وظيفيًا مثل خلايا الدم والخلايا الجرثومية.

تضيق)steh-NO-sis(تضييق ممر مث ل صمام القلب أو قناة الرحم؛ تضيق دائم ومر ضى على عكس التضيق الفسيولوجى للممر.

ستيرويد)STERR-oyd, STEER-oyd(جزيء د هنى يتكون من أربعة حلقات كربونية مترابطة؛ ا لكوليسترول وعدة مشتقاته.

مرشح من الدم أو سائل الأنسجة أو كإفراز م ن خلايا الغدد المصلية؛ يرطب الأغشية المص لية.

الغشاء المصلى غشاء مثل البريتوان، الجنبة، أ و التامور الذى يبطن تجويف الجسم أو يغطى ال سطوح الخارجية لأعضاء التجويف؛ يتكون من ط هارة متوسطة حرشفية بسيطة وطبقة رقيقة م ن النسيج الضام الرخو. يُسمى أيضًا *سير وزا*.
الشكل 5.33ب

كروموسومات الجنس كروموسومات X وY، التى تحدد جنس الفرد.

الصدمة 1. الصدمة الدموية، حالة يكون فيها الن تاج القلبى غير كافٍ لتلبية الاحتياجات الفسيو لوجية للجسم، مع عواقب تتراوح من الإغ ماء إلى الوفاة. 2. *صدمة الأنسولين*، حالة نق ص سكر الدم الحاد الناتجة عن إعطاء الأنسولين. 3. الصدمة الشوكية، حالة فقدان أو كبت النشا ط الانعكاسى أسفل نقطة إصابة الحبل ال شوكى. 4. الصدمة الكهربائية، تأثير مرور تيار كهربائى عبر الجسم، مما يسبب غالبًا تشنجات عضل ية واضطراب فى نظم القلب أو توقفه.

علامة مظهر موضوعى للمرض يمكن لأى مراقب رؤيته، مثل الزرقة أو الوذمة. *قارن العرض*.

الطهارة البسيطة طهارة تستند جميع خلاياها مبا شرة على الغشاء القاعدى؛ تشمل الأنواع البسيط ة الحرشفية والمكعبة والعمودية، والعمودية المزيفة الطبقات. الشكل 5.3

العقدة الجيبية الأذينية منظم ضربات القلب؛ بقعة من الخلايا ذات الإيقاع الذاتى فى الأذين الأيمن التى تبدأ كل نبضة قلب.

جيب 1. فراغ مملوء بالهواء فى الجمجمة. 2. وريد م عدل، متوسع نسبيًا يفتقر إلى العضلات الم لساء وغير قادر على التقلص الوعائى، مثل الجيوب الجافية فى الدورة الدموية الدماغية والجيب التاجى للقلب. 3. فراغ صغير مملوء بالسائل فى عضو مثل الطحال والعقد اللمفاوية. 4. يتعلق بالعقدة الجيبية الأذينية فى القلب، كما فى *إيقاع الجيب*.

ناقلة الصوديوم والجلوكوز)SGLT(هى ناقلة مشتركة تنقل Na^+ والجلوكوز إلى داخل الخلية فى آن واحد.

مضخة الصوديوم والبوتاسيوم)$Na^+–K^+$(هى آلية نقل نشطة فى غشاء البلازما تستخدم الطاقة من ATP لطرد ثلاث أيونات صوديوم م ن الخلية واستيراد أيونين بوتاسيوم إلى الخ لية فى كل دورة من المضخة؛ تُستخدم لتحفيز عمليات النقل النشطة الثانوية، وتنظيم حج م الخلية، والحفاظ على تدرج الشحنة الكهر بائية عبر غشاء البلازما، وتوليد حرارة الجسم.

جسدى 1. يتعلق بالجسم ككل. 2. متعلق بالجلد والعظام والهيكل العظمى العضلات على عكس الأحشاء. 3. يتعلق بالخلايا غير الخلايا الجرثومية.

شدة ومدة المنبه اللازمة لتوليد إشارة واردة م
ن مستقبل حسى.

التخثر)throm-BO-sis(تكوين أو وجود خ
ثرة.

الخثرة جلطة تتكون فى وعاء دموى أو حجرة القلب؛
قد تنفصل وتنتقل فى مجرى الدم كصمة خ
ثرية.
قارن الصمة.

هرمون الغدة الدرقية أحد هرمونين متشا
بهين، الثيروكسين وثلاثى يودوثيرونين، يتم
تصنيعهما من اليود والتيروزين.

هرمون تحفيز الغدة الدرقية)TSH(A
هرمون الغدة النخامية الأمامية الذى
يحفز الغدة الدرقية؛ ويُسمى أيضًا
ثيروتروبين.

ثيروكسين)ثاير-روك-سين(هرمون الغدة الدرقية
المفرز بأكبر كمية، يحتوى على
أربع ذرات يود؛ ويُسمى أيضًا
تيترأيودوثيرونين. الشكل 17.17

وصل ضيق منطقة يتم فيها ربط الخلايا المجاورة معًا
عن طريق اندماج الطبقة الخارجية
طبقة الفسفوليبيد فى أغشية البلازما الخاصة
بها؛ تُشكِّل منطقة تحيط بكل خلية بالقرب م
ن قطبها القمى وتقلل أو تمنع تدفق المواد
بين الخلايا. الشكل 5.28

النسيج تجمع من الخلايا والمواد خارج الخلية، يسُ
كل عادة جزءًا من عضو ويخدم جانبًا محددًا م
ن وظيفة ذلك العضو؛ تنتمى جميع الأنس
جة إلى واحدة من الفئات الأربع الأساسية—الظ
هارية،
الأنسجة الضامة والعضلية والعصبية.

totipotent يتعلق بخلايا جذعية فى المرحلة المبكرة من
الجنين قبل تطور الكيسة الأريمية)blastoc
yst(، والتى لديها القدرة على التطور إلى
أى نوع من الخلايا الجنينية أو خارج الجنينية أو خلايا ا
لبالغين.

العَصَيدة)tra-BEC-you-la(صفيحة أو طبقة رقيقة
من النسيج، مثل العَصَيدات المتكلسة فى
العظم الإسفنجى أو العَصَيدات الليفية التى
تقسم الغدة. الشكل 7.4

القصبة الهوائية)TRAY-kee-uh(أنبوب مدعوم بالغضروف
يمتد من الطرف السفلى للحنجرة إلى
منشأ الشعب الهوائية الرئيسية؛ ينقل الهواء إلى ومن
الرئتين؛ يُطلق عليه عاميًا اسم
القصبة الهوائية.

الترجمة العملية التى يقرأ فيها الريبوسوم جزىء
mRNA ويُصنع البروتين المحدد بوا
سطة شفرته الجينية.

بروتين عابر للغشاء هو بروتين متكامل يمتد عبر غشا
ء البلازما ويتصل بكل من السائل خارج الخ
لية والسائل داخل الخلية. الشكل 3.
6

مجهر إلكترونى ناقل)TEM(أ
الميكروسكوب الذى يستخدم شعاع إلكترون
ى بدلاً من الضوء لتشكيل صور ثنائية الأبعاد
عالية الدقة لشرائح رقيقة جداً من الخلايا أو الأن
سجة؛ قادر على دقة عالية جداً
التكبير.

ثلاثى الجليسريد)تراى-جليس-يور-ايد(هو دهن
مكون من ثلاثة أحماض دهنية مرتبطة بـ

الدورة الجهازية جميع الأوعية الدموية التى تنقل
الدم من البطين الأيسر إلى جميع أعضاء
الجسم ثم تعود إلى الأذين الأيمن
للقلب؛ جميع أجزاء الجهاز القلبى الوعائى باستثناء
القلب والدورة الرئوية.

الانقباض)SIS-toe-lee(انقباض أى حجرة فى
القلب؛ انقباض البطين ما لم يُذكر خلاف
ذلك.

ضغط الانقباض)سيس-تول-يك(هو أعلى ضغط دم
شريانى يُقاس أثناء انقباض البطين.

ت

خلية الهدف خلية تتأثر بألياف عصبية،
هرمون، أو رسول كيميائى آخر.

العقبى متعلق بالكاحل)العقب(.

خلية تى نوع من الخلايا اللمفاوية المشاركة فى الم
ناعة الفطرية، المناعة الخلطية، والمناعة الخ
لوية؛ توجد بأشكال متعددة تشمل خلايا تى الم
ساعدة، تى السامة، تى الكابحة، وخلايا القاتل ا
لطبيعى.

وتر شريط أو حبل كولاجينى مرتبط بعضلة، عادةً
يربطها بعظم وينقل التوتر العضلى إليه.

تشنج العضلات **1.** حالة انقباض عضلى مستمر
تنتج عن التراكم الزمنى كجزء طبيعى من الانقبا
ض؛ وتسمى أيضًا
تشنج عضلى. **2.** شلل عضلى تشنجى ناتج عن
سم بكتيريا *كلوستريديوم تيتانى* أو أسباب أ
خرى.

المهاد)THAL-uh-muss(أكبر جزء من الدماغ ا
لبينى، يقع مباشرة أسفل الجسم الثفنى و
يبرز فى كل بطين جانبى؛ نقطة انتقال تشابكى
لمعظم الإشارات التى تمر من المستويا
ت الأدنى للجهاز العصبى المركزى إلى المخ. ا
لأشكال 14.8، 14.12أ

نظرية بيان تفسيرى، أو مجموعة بيانات، تُ
لخص بشكل موجز حالة المعرفة حول ظاهرة مع
ينة وتوفر اتجاهًا للدراسة المستقبلية؛ على س
بيل المثال، نظرية الفسيفساء السائلة لغشا
ء البلازما ونظرية الخيوط المنزلقة لانقباض الع
ضلات. *انظر أيضًا* فرضية.

توليد الحرارة إنتاج الحرارة، على سبيل المثال
، عن طريق الارتجاف أو بفعل هرمونات الغ
دة الدرقية.

مستقبل حرارى هو عصبون متخصص فى الاستجابة
للحرارة أو البرودة، ويوجد فى الجلد والأغشية المخ
اطية، على سبيل المثال.

تنظيم الحرارة التنظيم التوازنى لدرجة حرارة الجسم
ضمن نطاق ضيق من خلال تعديل آليات تعز
يز الحرارة وفقدانها.

الصدر منطقة من الجذع بين الرقبة والحجاب الحا
جز؛ الصدر.

العتبة **1.** الجهد الأدنى الذى يجب أن يُزال اس
تقطابه فى غشاء البلازما لخلية عصبية أو عض
لية قبل أن ينتج عنها جهد فعل. **2.** الحد الأد
نى من التركيبة

فعّال. تشمل الأمثلة السطح الرئوى والأحما
ض الصفراوية.

الجهاز العصبى الودى قسم من الجهاز العصبى الذ
اتى يرسل ألياقًا صادرة عبر الأعصاب الصدرية وا
لقطنية وعادةً ما يمارس تأثيرات أدرينالية على أ
عضائه المستهدفة؛ يشمل سلسلة من العقد
المجاورة للعمود الفقرى، ونخاع الغدة الكظرية.

الارتفاق)SIM-fih-sis(مفصل يتم فيه ر
بط عظمتين بواسطة الغضروف الليفى؛ على
سبيل المثال، بين أجسام الفقرات وبين عظمى ا
لعانة اليمنى واليسرى.

النقل المشترك بروتين نقل مشترك يحرك مادت
ين مذابتين فى نفس الوقت عبر غشاء ال
بلازما فى نفس الاتجاه، مثل ناقل الصوديوم-ال
جلوكوز.

العَرَض تعبير ذاتى عن المرض لا يشعر به إلا المر
يض، مثل الدوار أو الغثيان. *قارن* العلامة.

المشبك العصبى (SIN-aps) **1.** نقطة اتصال فى نهاية م
حور عصبى حيث يحفز خلية أخرى. الشكل 12.20
2. وصلة فجوية بين خليتين قلبيتين أو
عضل أملس حيث تقوم خلية واحدة
بتحفيز الخلية الأخرى كهربائيًا؛ وتسمى
مشبكًا كهربائيًا.

الفجوة المشبكية)سين-أب-تِك(مساحة ضيقة
بين نهاية محور عصبى وغشاء الخلية التالية للم
شبك، تعبرها ناقلات عصبية. الشكل 12.21

الحويصلة المشبكية عضية كروية فى
نهاية المحور العصبى تحتوى على الناقل العصبى.
الشكل 12.21

متلازمة مجموعة من العلامات والأعراض
المترابطة الناجمة عن سبب مرضى محدد.

المساعد)سين-أور-جيست(عضلة تعمل مع
العضلة الرئيسية)المحركة(لتساهم فى
نفس الحركة العامة عند المفصل.

التأثير التآزرى تأثير يحدث عندما يعمل عاملان
معًا)مثل هرمونين(
محدثين تأثيرًا أكبر من مجموع
تأثيراتهما المنفصلة. على سبيل المثال، لا
يقوم هرمون تحفيز الجريب أو التستوستيرون
بمفردهما بتحفيز إنتاج كبير للحيوانات المنوية،
لكن معًا يحفزان
إنتاج أعداد هائلة من الحيوانات المنوية.

السائل الزليلى سائل تزييت يشبه بياض البيض ف
ى القوام، يوجد فى تجاويف المفاصل الزليلية
والجراب.

المفصل الزليلى نقطة حيث يفصل بين عظمتين
فراغ ضيق مغلف
مملوء بسائل زليلى مزلق؛ معظم
هذه المفاصل تكون متحركة نسبيًا. وتسمى أيضًا
الثنائى الحركة (دايارثروز).

تفاعل التركيب تفاعل كيميائى يتم فيه دمج جزيئا
ت صغيرة نسبيًا لتكوين جزىء أكبر. *قارن* ت
فاعل التحلل.

جهازى)جس-تِم-يك(منتشر أو متعلق بالجسم كك
ل، كما فى الدورة الدموية الجهازية.

الدماغ، القلب، الرئتان، المعدة، الأمعاء، والكليتان.
حشوى)فيس-رول(**1.** متعلق بالأحشاء. **2.** الطبقة الداخلية أو الأعمق من غشاء مكون من طبقتين مثل الجنبة، التامور، أو كبسولة الكبيبة. *قارن* الجدارى.
الشكل 6.أ
العضلة الحشوية عضلة ملساء وحيدة الوحدة توجد فى جدران الأوعية الدموية والمسالك الهضمية، التنفسية، البولية، والتناسلية.
اللزوجة مقاومة السائل للجريان؛ سمك أو لزوجة السائل.
العضلة الإرادية العضلة التى تكون عادة تحت السيطرة الواعية؛ العضلة الهيكلية.
الفرج الأعضاء التناسلية الخارجية الأنثوية؛ العانة، الشفران الكبيران، وجميع الهياكل السطحية بين الشفرين الكبيرين.

و

توازن الماء توازن بين كمية السوائل الداخلة والخارجةأو بين كميات السوائل المحتواة فيالأقسام المختلفة لسوائل الجسم.

المادة البيضاء نسيج عصبى أبيض مغطى بالميلين يقع عميقًا تحت قشرةالمخ والمخيخ و سطحيًا فوق المادة الرماديةلحبل الشوكى. الشكل 14.6

س

كروموسوم X الأكبر من بين كروموسومى الجنس؛ الذكور لديهم كروموسوم X واحدوالإناث لدىهن اثنان فى كل خلية جسدية.
الأشعة السينية **1.** شعاع كهرومغناطيسى عالى الطاقة وذو قدرة اختراق بطول موجى يتراوح بين 0.1 إلى 10 نانومتر؛ يُستخدم فى التشخيص والعلاج. **2.** صورة فوتوغرافية مأخوذة بالأشعة السينية؛ صورة شعاعية.

Y

كروموسوم Y أصغر الكروموسومات الجنسية الموجودة فقط فى الذكور وله وظيفة جينية قليلة أو معدومة باستثناء تطوير الخصية.
كيس المح غشاء جنينى يحيط بالمح فى الفقاريات التى تضع البيض ويعمل فى البشر كمصدر للدم الأول والخلايا الجرثومية.

Z

قوس الوجنة قوس عظمى أمام الأذن، يتكون من النتوءات الوجنية للعظام الصدغية والجبهية والوجنية؛ وهو منشأ عضلة الماضغة.

الزيجوت بويضة مخصبة وحيدة الخلية.

V

قوة فان دير فال جذب ضعيف بين ذرتين يحدث عندما يؤدى تذبذب مؤقت فى كثافة سحابة الإلكترونات لذرة واحدة إلى استقطاب ذرة مجاورة؛ مهم فى ارتباط الدهون ببعضها البعض، طى البروتين، وربط البروتين بالرابط.

الوريد الدوالى وريد أصبح متوسعًا ومتشابكًا بشكل دائم بسبب فقدان كفاءة صمامات الوريد؛ شائع بشكل خاص فى الطرف السفلى، المرىء، وقناة الشرج)حيث يُسمى بالبواسير(.

وعاء فاس( )الجمع، *فاسات*(وعاء أو قناة.
وعائى متعلق بالأوعية الدموية.
صبغة التآكل الوعائية تقنية لتصوير الأوعية الدموية للأعضاء والأنسجة، خاصة الأوعية الدقيقة، عن طريق غسل الدم من الأوعية، حقن راتنج وتركه يتصلب، ثم هضم النسيج الفعلى باستخدام عامل تآكلى، مما يترك فقط صبغة الراتنج؛ ثم يتم عرضها باستخدام مجهر إلكترونى ماسح مجهرى. الأشكال 20.1ب، 23.10أ
تضيق الأوعية (VAY-zo-con-STRIC-shun) تضييق وعاء دموى بسبب انقباض عضلى فى الطبقة الوسطى)tunica media(له.
توسع الأوعية)VAY-zo-dy-LAY-shun(توسيع وعاء دموى بسبب استرخاء عضلة الطبقة الوسطى)tunica media(والضغط الخارجى للدم الممارس على الجدار.
حركة الأوعية مصطلح جماعى لتضيق وتوسع الأوعية؛ أى تغيير فى قطر وعاء دموى.
مركز الحركة الوعائية نواة فى النخاع المستطيل تنقل الإشارات إلى الأوعية الدموية وتنظم قطر الوعاء.
بطنى متعلق بالجزء الأمامى من الجسم، مناطق الصدر والبطن؛ أمامى.
الجذر البطنى *انظر* الجذر الأمامى.
البطين)VEN-trih-cul(غرفة مملوءة بالسوائل فى الدماغ أو القلب.
الوريد الشعيرى)VEN-yule(أصغر نوع من الأوردة، يستقبل التصريف من الشعيرات الدموية.
الفقرات)VUR-teh-bra(أحد عظام العمود الفقرى.
العمود الفقرى)VUR-teh-brul(سلسلة خلفية تتكون عادة من 33 فقرة؛ تحيط بالحبل الشوكى، تدعم الجمجمة والقفص الصدرى، و توفر نقاط ارتكاز للأطراف وعضلات الوضعية. يُطلق عليه أيضًا *العمود الفقرى أو العمود الشوكى.*
الحويصلة كيس نسيجى مملوء بالسوائل أو عضية مثل الحويصلة المشبكية أو الحويصلة الإفرازية.
النقل الحويصلى حركة الجسيمات أو قطرات السائل عبر غشاء البلازما بواسطة عملية الالتقام الخلوى أو الإفراز الخلوى.
الأحشاء)VISS-er-uh( )المفرد، *الحشاء*(الأعضاء الموجودة فى تجاويف الجسم، مثل

الجليسرول؛ ويُسمى أيضًا *ثلاثى الأسيل جليسرول* أو *الدهون المحايدة*. الشكل 2.18
الجذع **1.** ذلك الجزء من الجسم باستثناء الرأس والرقبة والزوائد. **2.** وعاء دموى رئيسى، أو وعاء لمفاوى، أو عصب ينشأ منه فروع أصغر؛ على سبيل المثال، الجذع الرئوى وجذوع الأعصاب الشوكية.

الأنبوب T الأنبوب العرضى؛ امتداد أنبوبى لغشاء البلازما فى خلية العضلة ينقل الإمكانات الكهربائية إلى الساركوبلازم ويحفز الشبكة الساركوبلازمية.
الشكل 11.2
الغشاء)TOO-nic(طبقة تحيط أو تغلف عضوًا، مثل أغشية الأوعية الدموية أو كرة العين.
الغشاء الطبلى طبلة الأذن.

يو

البنية الدقيقة التفاصيل الدقيقة لأنسجة وخلايا الهيكل، حتى المستوى الجزيئى، التى يكشفها المجهر الإلكترونى.
الإشعاع فوق البنفسجى إشعاع كهرومغناطيسى غير مرئى ومؤين ذو طول موجى أقصر وطاقة أعلى من الضوء البنفسجى؛ يسبب سرطان الجلد وشيخوخة الجلد الضوئية ولكنه مطلوب بكميات معتدلة لتركيب فيتامين د.
أحادى القدرة يتعلق بخلايا جذعية لديها القدرة على التطور إلى نوع واحد فقط من الخلايا المتمايزة تمامًا والوظيفية، مثل الخلية الجذعية البشرة التى يمكن أن تصبح فقط كيراتينوسيت.

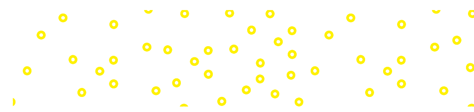
غير مغلف بغمد الميالين)un-MY-eh-lih-NAY-ted(يفتقر إلى غمد الميالين. الشكل 12.9
اليوريا)يو-رى-أه(نفاية نيتروجينية تنتج من جزيئين من الأمونيا وثانى أكسيد الكربون؛ وهى الأكثر وفرة النفايات النيتروجينية فى الدم والبول.
الشكل 23.2
الطهارة البولية نوع من الطهارة متعددة الطبقات التى تبطن معظم المسالك البولية، وتتميز بخلايا *مطلية مقببة على السطح، تحمى الخلايا الكامنة من حموضة وتركيز البول العالى. و تسمى أيضًا الطهارة الانتقالية.* الشكل 5.11
قناة الرحم قناة تمتد من المبيض إلى الرحم وتنقل بويضة أو جنين إلى الرحم؛ و تسمى أيضًا *قناة فالوب أو القناة البيضية.*

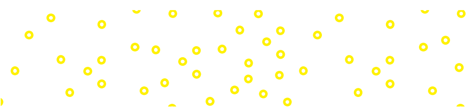
الحويصلة)يو-ترى-كول(مستقبل يشبه الكيس فى الأذن الداخلية مع رقعة أفقية تقريبًا من خلايا الشعر، تُسمى بقعة الحويصلة؛ تستشعر اتجاه الرأس وتستجيب لتسارع أفقى، كما عند التسارع أو التباطؤ فى السيارة.
الشكل 16.20

الفهرس

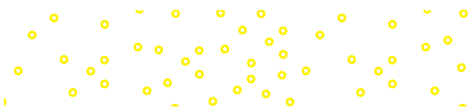
أرقام الصفحات المكتوبة بخط مائل تشير إلى الرسوم التوضيحية وعناوينها؛ أرقام الصفحات التى تتبعها t تشير إلى مواد فى الجداول. معظم المصطلحات التى تتكون من كلمتين أو أكثر تُفهرس تحت المصطلح الأكثر عمومية، مع المصطلح المحدد كفرع تحتها — على سبيل المثال، العصب المبهم سيُوجد تحت N، وليس تحت V.

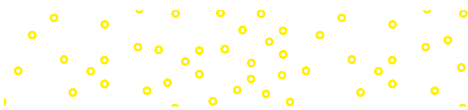
A

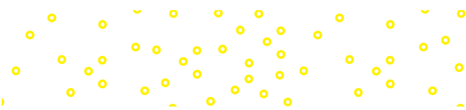


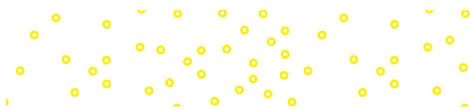


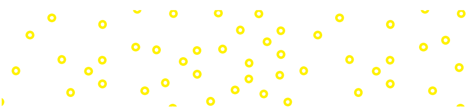
ب

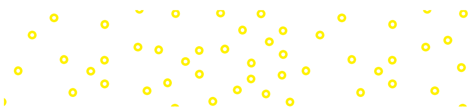


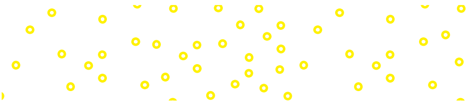


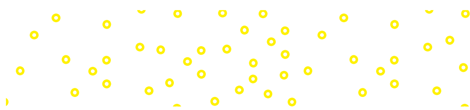


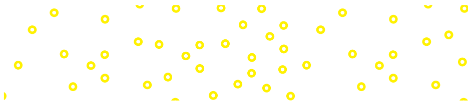


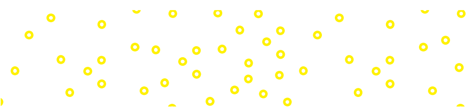


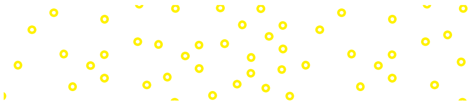




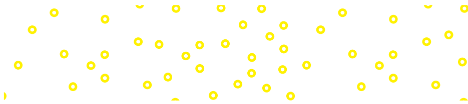


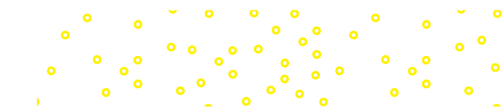




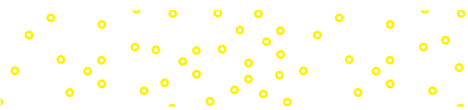


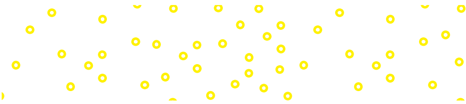
ح

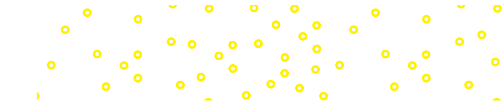




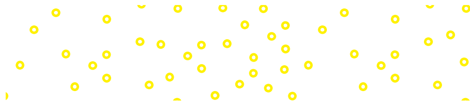
ح

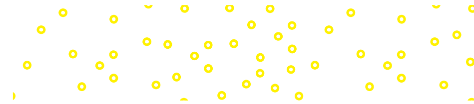


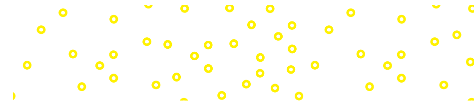


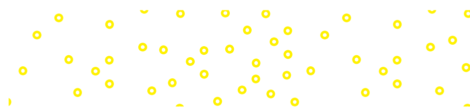


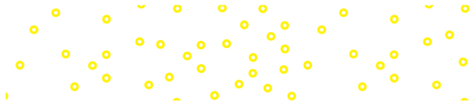
ح

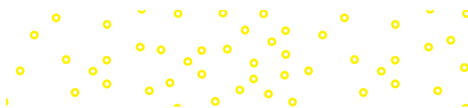




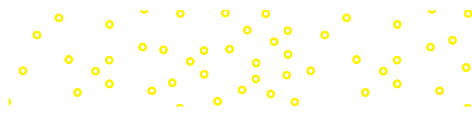


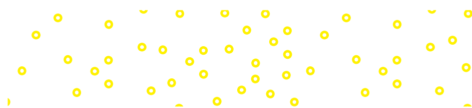




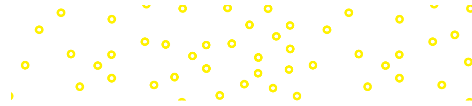


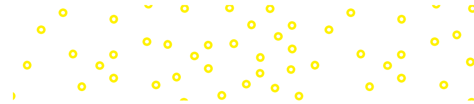
ن

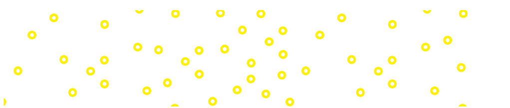


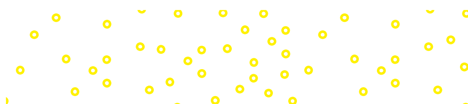


O



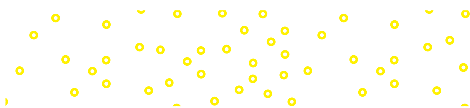


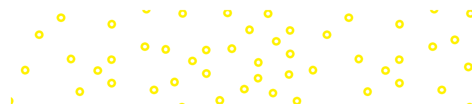


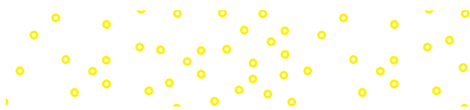


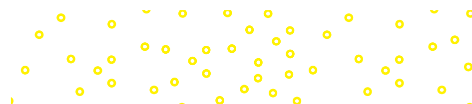
ر

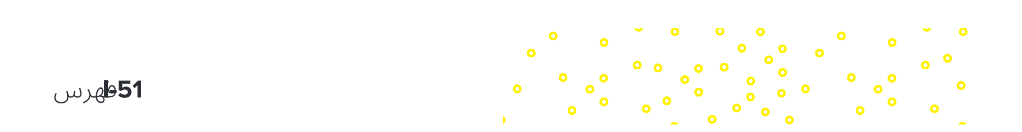
ق

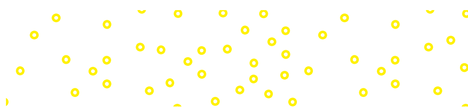


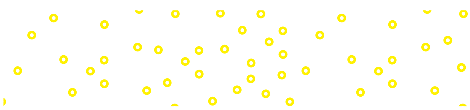












V

